



**AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND- UND  
KIEFERHEILKUNDE**

(Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. H. Korbmacher-Steiner)

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

**KLINISCHER EINSATZ EINER FLUORESZENZBASIERTEN  
INTRAORALKAMERA FÜR DIE VERLAUFSKONTROLLE AN  
GESUNDEN UND INITIALKARIÖSEN ZÄHNEN**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin  
dem Fachbereich Medizin  
der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt  
von

**Gabriel Vill**

aus  
Offenbach am Main

Marburg, 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität

Marburg am: 24.11.2016

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. Helmut Schäfer

Referent: Prof. Dr. Anahita Jablonski-Momeni

1.Korreferent: Prof. Dr. Heike Korbmacher-Steiner

2.Korreferent: Prof. Dr. Klaus-Ulrich Lotzmann

Meiner Familie gewidmet

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht .....</b>	<b>3</b>
2.1	Ätiologie der Zahnkaries.....	3
2.2	Die Schmelzkaries.....	4
2.3	Die Dentinkaries .....	5
2.4	Die Fissurenkaries .....	7
2.5	Die Entstehung der Okklusalkaries .....	8
2.6	Epidemiologie der Okklusalkaries .....	9
2.7	Detektionsverfahren der Okklusalkaries .....	11
2.8	Visuelle und kombiniert visuell-taktile Detektion .....	12
2.9	Radiologische Kariesdetektion .....	16
2.10	Fluoreszenz-basierende Kariesdetektion.....	19
2.10.1	Physikalische Grundlagen .....	19
2.10.2	Porphyrine .....	21
2.10.3	VistaProof®-System.....	23
<b>3</b>	<b>Zielsetzung und Fragestellungen .....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>Probanden und Methode .....</b>	<b>30</b>
4.1	Studienvorbereitung und Untersuchertraining .....	30
4.2	Auswahl der Probanden und Zähne .....	31
4.3	Klinische Untersuchung .....	32
4.4	Datenerfassung und statistische Auswertung .....	34
4.4.1	Ermittlung der Reproduzierbarkeit der Verfahren.....	34
4.4.2	Korrelationsbestimmung der verwendeten Verfahren.....	35
4.4.3	Sensitivität und Spezifität .....	36

4.4.4	Receiver Operating Characteristic-Curves (ROC-Kurven).....	36
4.4.5	Box-Plot-Diagramm .....	37
4.4.6	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test .....	39
5	Ergebnisse .....	41
6	Diskussion.....	48
6.1	Diskussion der Problemstellung .....	48
6.2	Visuelle Detektion .....	50
6.3	Fluoreszenzmessung mit der Intraoralkamera VistaProof .....	53
6.4	Diskussion der Ergebnisse .....	56
6.5	Schlussfolgerung .....	61
7	Zusammenfassungen .....	63
7.1	Zusammenfassung .....	63
7.2	Summary .....	65
8	Literaturverzeichnis .....	67
9	Abkürzungsverzeichnis.....	82
10	Anhang.....	85
10.1	ICDAS II.....	85
10.2	VistaProof.....	86
11	Lebenslauf .....	87
12	Verzeichnis akademischer Lehrer .....	88
13	Danksagung.....	89
14	Ehrenwörtliche Erklärung .....	90

## 1 Einleitung

Die Karies ist nach wie vor eine der am weitesten verbreiteten Erkrankungen des Menschen. Sie beginnt mit einer meist nur mikroskopisch sichtbaren Demineralisation der betroffenen Schmelz-, Dentin- oder Zementoberfläche. Eine frühzeitige Diagnose stellt somit für den Behandler eine Herausforderung im zahnärztlichen Alltag dar.

Laut Definition spricht die Weltgesundheitsorganisation [WHO 1997] von der Behandlungsbedürftigkeit eines Zahnes, wenn Dentin freiliegt (D3- Level) oder unterminierter Schmelz mit erweichten Rändern tastbar ist. Die Entwicklung der Mundgesundheit in den letzten Jahren zeigt, dass kariöse Läsionen in diesem Ausmaß nicht mehr die Regel darstellen [Micheelis und Schiffner 2006, Jablonski-Momeni et al. 2014b].

In der modernen Zahnmedizin bedarf es also subtilerer Indizes und Diagnostika mit derer sich bereits Initialläsionen erfassen lassen, die sich oftmals der optischen Beurteilung des Zahnarztes entziehen. Ein obligates System zur klinischen Kariesdiagnose, besonders zur zuverlässigen Erfassung von Initialläsionen, wäre ideal um prophylaktische Maßnahmen gezielt und kosteneffektiv einsetzen zu können.

In ganz Westeuropa wurde in den letzten Jahrzehnten ein deutlicher Kariesrückgang beobachtet [Glass 1982, Marthaler 1990]. Auch deutschlandweit zeigt sich dieser Trend sowohl bei Kindern und Jugendlichen als auch bei Erwachsenen [Pieper 1995, Pieper 1996, Pieper 1998, Pieper 2001, Pieper und Schulte 2004, Pieper 2005, Pieper 2010, Micheelis und Schiffner 2006, Schulte et al. 2006] und lässt sich auch in regionalen Studien bestätigen [Momeni et al. 2005, Momeni et al. 2007, Jablonski-Momeni et al. 2007]. Jedoch sind nicht alle Zahnflächen gleichermaßen von der Kariesreduktion betroffen. Der Kariesbefall im bleibenden Gebiss konzentriert sich zunächst auf die Okklusalfächen der ersten und zweiten Molaren [Hannigan et al. 2000]. Nach Wendt und Koch [1988] werden bei 13-15-Jährigen 60 % der Restaurationen an Okklusalfächen gelegt, obwohl sie nur 12,5% aller Zahnflächen ausmachen. Zudem lässt sich feststellen, dass die Entwicklung der Fissurenkaries vor allem während der ersten Jahre nach Durchbruch der Zähne beobachtet werden kann [von der Fehr 1986]. Weitere Studien belegen, dass sich im Zuge des allgemeinen Kariesrückgangs der Anteil der kariösen Läsionen häufig auf die Okklusalfächen der Zähne konzentriert [Clerehugh et al. 1983, Steiner et al. 1994].

Die diagnostischen Möglichkeiten für den Zahnarzt haben sich in den letzten Jahrzehnten erweitert: Als gängige, nicht invasive Methoden für Milch- und bleibende Zähne können hier Verfahren basierend auf (Laser)-Fluoreszenzmessungen aufgezählt werden. Das Prinzip beruht

darauf, dass Zahnhartsubstanzen unter bestimmten Bedingungen fluoreszieren können [Strübel 1911]. Dieses Phänomen verändert sich bei kariöser Zerstörung der Zahnhartsubstanz, wobei die Veränderung von Schmelz bzw. Dentin anhand der Fluoreszenzmessung quantifiziert werden kann. Als Beispiele können die quantitative, lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF, Inspektor Research Systems BV, Niederlande), Laserfluoreszenzverfahren (DIAGNOdent und DIAGNOdent pen, KaVo, Biberach) sowie die fluoreszenzbasierten Intraoralkameras VistaProof und VistaCam iX (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen) genannt werden.

Wichtig ist, dass ein System für die klinische Kariesdiagnose einerseits kariöse Läsionen schon im frühen Stadium erfasst, und andererseits bei fortgeschrittenen Läsionen die Entscheidungsbasis für geeignete Therapiemaßnahmen liefert.

Außerdem spielt die Datenarchivierung zur Verlaufskontrolle eine entscheidende Rolle, wodurch ein Monitoring auch über längere Zeiträume und untersucherunabhängig zuverlässig durchführbar wird.

Die folgende Literaturübersicht soll die Ätiologie der Schmelz- und Dentinkaries, das veränderte Erscheinungsbild der Okklusalkaries sowie gängige Methoden zur klinischen Detektion der okklusalen Karies vorstellen.



## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Ätiologie der Zahnkaries

Die Zahnkaries stellt eine Erkrankung dar, die multifaktoriell bedingt ist und die Zerstörung der Zahnhartsubstanzen zur Folge hat.

Die Entstehung der Karies wurde von *Miller [1892]* erstmals in seiner chemoparasitären Theorie vorgestellt. Er beschreibt, die Verstoffwechslung niedermolekularer Kohlenhydrate durch kariogene Mikroorganismen. Die als Endprodukt entstehenden organischen Säuren senken den pH-Wert soweit, dass Bestandteile der Zahnschmelzmatrix demineralisiert werden. Diese Theorie fand durch *Keyes [1962]* Bestätigung, und wurde durch die Faktoren „Wirt“ und „kariogenes Substrat“ erweitert. Die Relevanz der Einwirkdauer des Substrats auf die Zahnhartsubstanz wurde von *König [1971]* ergänzt, wobei all diese Faktoren im Zusammenspiel Einfluss auf das Vorhandensein und den Schweregrad der Karies [*König 1971*] nehmen. Speichelzusammensetzung, Immunabwehr und im Besonderen die sozioökonomische Komponente [*Pieper 2001, 2005*] spielen zusätzlich eine entscheidende Rolle für die Entstehung und Entwicklung einer Karies.

Die kariöse Läsion unterliegt in ihrer Entwicklung der Dynamik aus De- und Remineralisationsphasen [*Schroeder 1997*]. Puffersysteme im Speichel regulieren diese De- und Remineralisationsvorgänge. Durch den körpereigenen Reinigungsmechanismus von Zunge und Wangen und durch die tägliche Mundhygiene entsteht so ein dynamischer Prozess.

Während der Demineralisation produzieren orale Mikroorganismen wie z.B. grampositive Kokken (*S. mutans*) und Aktinomyceten Säuren, die zu einem Abfall des pH-Wertes im Biofilm führen, wodurch sich Kalzium- und Phosphationen aus dem Schmelz herauslösen. Diese diffundieren entlang ihres Konzentrationsgefälles zur Schmelzoberfläche und in die Plaque.

Kommt es zu einer Neutralisation der Säuren in der Plaque durch den Speichel und eine Anhebung des pH-Wertes in den neutralen Bereich von 6,5-6,9, so entsteht eine Remineralisation. Die hierdurch entstandene Übersättigung der Plaque mit Kalzium- und Phosphationen, ermöglicht nun umgekehrt eine Ionenbewegung in den oberflächlichen Schmelz.

*Levine [1977]* beschreibt diesen Zusammenhang als „Ionenwippe“. Überwiegt die „Seite“ der Demineralisationsphasen, kommt es zum Verlust von Zahnhartsubstanz, der zunächst nur mikroskopisch sichtbar, später aber auch optisch als „Kreidefleck“ (White-Spot) diagnostizierbar ist.

Prophylaktisch wäre also die Reduktion der Anzahl täglich zugeführter Mahlzeiten bei gleichzeitig verbesserter Qualität der Mundhygiene wünschenswert, um eine vermehrte Produktion organischer Säuren zu vermeiden.

Dies widerspricht allerdings dem ernährungsphysiologisch sinnvollen Ansatz, die Nahrungsaufnahme möglichst in Form mehrerer kleiner Mahlzeiten über den Tag zu verteilen [Jenkins et al. 1989, Gerhardt 1998].

Wird aber ein etablierter Biofilm für längere Zeit nicht beseitigt, kann es an entsprechenden Stellen zu kariösen Defekten kommen, im Besonderen dort, wo die mechanische Reinigungswirkung der Zunge und der Wangen, sowie die abrasive Wirkung bestimmter Nahrungsbestandteile als auch die der Zahnbürste eingeschränkt sind.

Okklusale Einziehungen, Fissuren und Grübchen, Approximalflächen unterhalb des Kontaktpunktes sowie Flächen im Bereich des marginalen Gingivaums lingual und bukkal, sind als solche Prädilektionsstellen anzusehen und somit besonders gefährdet für die Entstehung kariöser Läsionen.

## 2.2 Die Schmelzkaries

Die Schmelzkaries wird klinisch erstmals als weißlicher Kreidefleck sichtbar, welchem mikromorphologische Strukturveränderungen zugrunde liegen. Es lassen sich Erweiterungen der interprismatischen Räume sowie auch der interkristallinen Räume innerhalb der Prismenstäbe und des Zwischenstabschmelzes feststellen. Die Oberflächenstruktur im Läsionsbereich ist entlang des Perikymatienvverlaufs erodiert und das Prismenstabzentrum befindet sich in der Auflösung [Schroeder 1997]. Die daraus resultierenden Bereiche sind überwiegend mit Bakterien und Wasser gefüllt und werden auch als „Mikroporen“ bezeichnet. Die sichtbare, kreidig-weißliche Opazität der betroffenen Region ist durch die gesteigerte Lichtbrechung zu erklären (White-Spot-Läsion) [Hibst 1999, Karlsson 2010].

Bei Dünnschliffen mit Schmelzläsion lassen sich unter einem Licht- oder Polarisationsmikroskop vier unterschiedliche Zonen klassifizieren.

Die äußere Oberflächenschicht erscheint im mikroskopischen Bild meist völlig intakt, weist aber bereits einen Mineralverlust von 1 - 10% auf.

Elektronenmikroskopisch lässt sich erkennen, dass in der oberflächlichen Schicht ein vergrößerter interkristalliner Raum im Vergleich zum gesunden Schmelz entstanden ist. Auf diese scheinbar intakte Oberflächenschicht folgt die als „Läsionskörper“ bezeichnete Zone. Hier findet sich ein um 5- 25% vergrößertes Porenvolumen, welches das verstärkte Eindringen von Speichelbestandteilen begünstigt. Die im Läsionskörper vorhandenen Kristallite haben eine Größe von 10- 30nm.

Besonderes Kennzeichen des Läsionskörpers ist die deutlichere Sichtbarkeit der Retziusstreifen.

Weiter im Inneren schließt sich dann die „dunkle Zone“ mit einem Porenvolumen von 2- 4% an. Aufgrund der stetig ablaufenden Remineralisation ist hier der Porendurchmesser kleiner als in der innersten Zone.

Diese wird auch als transluzente Zone bezeichnet, mit der für sie charakteristischen fortschreitenden Demineralisation. Die hier vorwiegend zu findenden Kristallite weisen eine Größe von 25- 30 nm auf. Das Porenvolumen beträgt ca. 1 % im Verhältnis zum gesunden Zahnschmelz mit 0,1 % [Palamara et al. 1986, Hellwig et al. 2009].

## 2.3 Die Dentinkaries

Ist der Weg der kariogenen Bakterien durch den widerstandsfähigen Schmelz geschafft, stellt das Dentin mit seinen zahlreichen Dentintubuli keine größere Barriere mehr dar. Mit dem Erreichen der Schmelz-Dentin-Grenze breitet sich die Karies nach lateral zirkulär im Manteldentin aus und unterminiert so den umliegenden Zahnschmelz. Die radiale Anordnung der Tubuli von der Pulpa zur Schmelz-Dentin-Grenze und die Zunahme des Tubulidurchmessers, führen so zu einem kegelförmig gestalteten Defekt.

*Schröder [1991]* unterscheidet drei Arten von Dentin. Während der Zahnentwicklung entsteht bis zum abgeschlossenen Wurzelwachstum das Primärdentin. Das Sekundärdentin bildet sich im Bereich der Pulpa und wird über die gesamte Lebensdauer ohne Einfluss äußerer Reize neu gebildet. Die Entstehung des Tertiärdentins nimmt eine Sonderstellung ein. Als eine Art Schutzmechanismus reagiert der Zahn in tieferen Dentinschichten bereits früh auf Läsionen im Schmelz und bildet im Bereich der Dentin-Pulpa-Grenze das Tertiärdentin, um somit die Pulpa zu schützen und den Zahn vital zu halten. Alle drei Dentinarten unterscheiden sich in ihrem

strukturellen Aufbau und werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten und aus unterschiedlichen Gründen gebildet.

Sekundär- und Primärdentin zeigen beide einen mikroskopisch regelmäßigen Verlauf und besitzen einander ähnelnde tubuläre Muster mit geringerer Dentinkanälchendichte im Sekundärdentin. Die Tertiärdentinstruktur unterscheidet sich hiervon deutlich. Als Folge der ungleichmäßigen Mineralisation und Bildungsrate verlaufen die Tubuli chaotisch, verdrillt oder fehlen ganz.

Auch im kariösen Dentin lassen sich unter dem Mikroskop charakteristische Schichtungen unterscheiden. In der sogenannten „Penetrationszone“ wandern die kariogenen Bakterien aus dem Schmelz entlang der Dentintubuli weiter ins Innere in Richtung Pulpa. Hier diffundieren bereits bakterielle Toxine und weitere Stoffwechselprodukte sowie diverse proteolytische Enzyme in das Dentin.

In der sich anschließenden „Demineralisationszone“ nimmt die Demineralisationsrate zu, da mehr Mikroorganismen und deren Stoffwechselprodukte in das Dentin eindringen können.

Der darauf folgende Bereich ist frei von Odontoblastenfortsätzen. In diesen „dead tracts“ stagniert der Stoffwechsel zwischen Pulpa und angrenzendem Dentin. Allerdings ist die Permeabilität in dieser Schicht deutlich erhöht. In der pulpanahen Region hat sich eine Reaktionsschicht gebildet, die als „Sklerosezone“ bezeichnet wird.

Es finden sich hier vorwiegend obliterierte Dentintubuli und teilweise mineralisierte Odontoblastenfortsätze, die als Schutzwall gegen das Eindringen der Mikroorganismen in die Zahnpulpa dienen. Hat die Karies die Pulpa noch nicht gänzlich erreicht, ist hier in der Regel noch eine kleine Schicht intaktes Dentin vorhanden.

Bedingt durch die bakteriellen Stoffwechselprodukte, wird an der Pulpa-Dentingrenze dunkles Reaktionsdentin (Tertiärdentin) gebildet [Schröder 1991]. Die periphere „Nekrosezone“ ist durch erweichtes bzw. verflüssigtes Dentin gekennzeichnet und stellt sich klinisch als gelbbraun verfärbte Substanz dar [Hellwig et al. 2009].

## 2.4 Die Fissurenkaries

Aufgrund der nicht abgeschlossenen posteruptiven Schmelzreifung besteht in den ersten Jahren nach dem Zahndurchbruch eine allgemein erhöhte Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Schmelzkaries [Crabb 1976]. Dies ist zwar kein für Fissuren spezifisches Phänomen, die Schmelzreifung hat aber auf deren Kariesanfälligkeit einen stärkeren Einfluss [Lussi et al. 1995].

Mehrere Faktoren begünstigen besonders in den Fissuren die Entstehung der Karies. Von *Carvalho et al.* [1989] werden beispielsweise erhöhte Plaqueakkumulationen in den Fissuren und Grübchen durchbrechender Zähne beschrieben. Des Weiteren wird das Risiko noch durch erschwerte Reinigung während des Zahndurchbruchs und fehlenden Antagonistenkontakt erhöht. Das Relief des Fissurensystems, mit seinem Wechselspiel aus Höckerspitzen, Furchen und Grübchen, bietet kariogenen Mikroorganismen je nach Ausprägung gute Bedingungen sich ungestört zu vermehren und auszubreiten.

Die Breite des Schmelzmantels steht der Kariesentstehung entgegen. Im Fissurenfundus liegt diese nur bei 0,2 mm und stellt hier lediglich nur ein kurzzeitiges Hemmnis für die Kariesinitiation dar [Rohr et al. 1991].

Die Morphologie der Fissur ist ebenfalls für die Entstehung der Läsion von Bedeutung. So findet sich der kariöse Defekt am häufigsten an der Basis der Fissur und beginnt bei unterschiedlichen Fissurentypen gehäuft an bestimmten Lokalisationen innerhalb der Fissur [Juhl 1983].

Laut *Nagano* [1960] ist dies beim V-Typ (weit geöffneter Eingangsbereich, schmal zulaufender Fissurengrund) der Fissurengrund, beim U-Typ (gleichbleibende Breite) der mittlere Bereich und beim I- (insgesamt schmaler Spalt) und IK-Typ (schmaler Spalt, zum Grund hin erweitert) der Eingangsbereich. Diese Beobachtung findet ebenfalls Zustimmung bei *König* [1963].

Eine ungünstige Fissurenmorphologie erschwert eine vollständige Plaqueentfernung im Fissurenfundus, oder macht sie bisweilen sogar unmöglich [Lussi et al. 1995]. Indessen bilden sich innerhalb des Fissurensystems Mikrobiotope, die die Progredienz der Läsion unabhängig von der generellen Kariesgefährdung des Wirtes ermöglichen [Laurisch 2007].

Nach *Fennis-Ie et al.* [1998] und *Pearce et al.* [1999] gibt es des weiteren Hinweise darauf, dass die Fissurenmorphologie die kariesprotektive Wirkung von Fluoriden und Chlorhexidin negativ beeinflussen könnte.

## 2.5 Die Entstehung der Okklusalkaries

Die Zahnkaries stellt ein komplexes Kontinuum dar, das von der molekularen Ebene der Demineralisation über die Initial- oder Wurzelläsion bis hin zur manifesten Dentinkaries mit oder ohne Kavitation reicht.

Der kariösen Läsion liegt, wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, eine Störung des dynamischen Verhältnisses zwischen pathologischen Faktoren, die zur Demineralisation führen und den protektiven Faktoren, die die Remineralisation fördern, zugrunde.

Eine vermehrte Anzahl an säurebildenden Mikroorganismen, große pH-Wert Schwankungen im Speichel, besonders im Zusammenhang mit erhöhter Nahrungsaufnahmefrequenz, sind pathologische Faktoren für die Kariesentstehung. Zu den protektiven Faktoren zählen die Speichelflussrate, die Speichelzusammensetzung, körpereigene Abwehr, die Qualität und Frequenz der Mundhygiene, zugeführte Fluoride sowie diätische Faktoren.

Die Erkrankung des Zahnes ist reversibel, sofern sie rechtzeitig detektiert wird [*Featherstone 2004, Ellwood et al. 2012, Shellis 2012*]. Bemerkenswert ist dabei, dass die Progredienz der Kariesentwicklung jederzeit beeinflusst werden kann, sowohl durch natürliche als auch durch entsprechend eingreifende Maßnahmen. Je nach Zustand sind dies z. B. die Umstellung von Ernährungsgewohnheiten, Fluoridierungsmaßnahmen bis hin zur invasiven Versorgung.

Die Mundhöhle bietet dem breiten Spektrum der bakteriellen Flora ein offenes Wachstums- und Entwicklungssystem, in dem pathogene Keime zuerst an jeweilige Oberflächenstrukturen binden müssen um diese kolonisieren zu können. Die Rolle des ersten Zahnoberflächenhäutchens stellt hier einen wichtigen Bestandteil in der Entwicklung der Karies dar, da es erst die Adhäsion der Bakterien an den Zahn und somit deren Kolonisation ermöglicht [*Liljemark et al. 1996*].

Neben der Adhäsion und Kolonisation der pathogenen Keime spielen unter anderem folgende kariesfördernde Risikofaktoren eine entscheidende Rolle: vermehrter hochfrequenter Konsum zuckerhaltiger Getränke, Adipositas im Kindesalter, unregelmäßige Zahnarztbesuche, genetische Faktoren, bereits vorhandene erhöhte Kariesaktivität, schlechte Mundhygiene und Compliance sowie der soziale Status. Diese Risikofaktoren machen zusammen ca. 20 % der Varianz des Aufkommens der Inkremente aus [*Ismail et al. 2009*]. Nach *Ferreira Zandona et al. [2012]* neigen okklusale Läsionen eher zur Kavitation im Vergleich zu Läsionen, die an bukkalen Grübchen, Approximalflächen oder an bukkalen und lingualen Flächen vorliegen.

## 2.6 Epidemiologie der Okklusalkaries

Die Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen im regionalen und nationalen Vergleich zeigt in zahlreichen epidemiologischen Studien für Deutschland im Zuge von individual- und gruppenprophylaktischen Maßnahmen in den letzten Jahren einen deutlich rückläufigen Trend [Pieper 1995, Pieper 1996, Pieper, 1998; Pieper 2001, Pieper 2005, Pieper 2010, Micheelis et al. 2006, Momeni et al. 2002, Momeni et al. 2005, Momeni et al., 2007].

Schon Anfang der 1980er Jahre beschreiben Glass [1982] und später Marthaler [2004] in einigen europäischen Regionen diesen signifikanten Rückgang.

In der aktuellen Studie der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege [Pieper 2010] wurde im Zeitraum zwischen 1994/95 und 2009 für die Altersgruppe der Sechs- bis Siebenjährigen ein Kariesrückgang von 35,3 % ermittelt. Dieser als „Caries decline“ bezeichnete Rückgang betrug bei Zwölfjährigen sogar 70,5 %.

Auch Micheelis und Schiffner [2006] bestätigen die ungleiche Verteilung der Kariesprävalenz innerhalb einzelner Altersgruppen: 10,2 % der untersuchten Zwölfjährigen wiesen 60,1 % der Karieserfahrung auf, bei der Gruppe der 15jährigen zeigte sich bei 26,8 % der Untersuchten zu 79,2 % eine Karieserfahrung.

Diese schon bei früheren Studien [Pieper 2005] beobachtete Polarisierung des Kariesbefalls konnte hier also erneut bestätigt werden. Es lässt sich eine Aufteilung in zwei Gruppen feststellen. Eine relativ große Gruppe von Kindern, die keine Karieserfahrung hat, steht einer weiteren, kleinen Gruppe, sogenannter „Kariesproduzenten“, mit stark erhöhter Kariesanfälligkeit gegenüber.

Hiervon betroffen ist nicht nur das Milchgebiss Sechs- bis Siebenjähriger, sondern auch die bleibende Dentition von 12- bis 15-Jährigen [Pieper 2010].

Zudem hat sich das klinische Erscheinungsbild der Karies gewandelt. Die großflächig kavitierte Läsion ist deutlich seltener anzutreffen, während schwer zu diagnostizierende Läsionsformen mit pseudointakter Schmelzschicht den klinischen Alltag bestimmen.

Trotz des rückläufigen Kariesaufkommens gibt es noch immer besonders gefährdete Zahnflächen. Betrachtet man das Aufkommen der Karies im bleibenden Gebiss bis hin zum zwölften Lebensjahr, so zeigen sich hauptsächlich Fissuren und Grübchen der ersten Molaren betroffen. Durchschnittlich verstreichen ca. vier Jahre bis eine kariöse Läsion die bleibende Dentition befällt. Die Okklusalflächen der zweiten Molaren sind in etwa ein Jahr später betroffen [Hannigan et al. 2000]. Mit steigendem Lebensalter verlagert sich die typische Lokalisation der Karies. Ab dem 13. Lebensjahr treten nunmehr vermehrt proximale

Läsionen auf [Mejare et al. 1998]. Des Weiteren hat sich das Erscheinungsbild der Okklusalkaries gewandelt. Immer häufiger entzieht sich eine manifeste Dentinkaries der visuellen Inspektion, da sie von einer scheinbar intakten Schmelzoberfläche überdeckt bleibt. So lässt sich in den letzten Jahren bei okklusalen Läsionen eine neue Entwicklung in ihrem Erscheinungsbild beobachten. Klinisch gesunde oder höchstens verfärbt erscheinende Fissuren zeigen stark ausgedehnte, unterminierende Dentinkaries, die erst röntgenologisch diagnostizierbar wird. Das vermehrte Auftreten dieser sogenannten „hidden caries“ [Weerheijm et al. 1992] wird im Zusammenhang mit den stark gestiegenen lokalen Anwendungen von Fluoriden mit ihrem Remineralisationspotential für den Schmelz diskutiert.

Die intakt erscheinende und durch Fluorapatit gehärtete Schmelzoberfläche kann die vorangeschrittene Dentinläsion möglicherweise verdecken und sie somit für eine adäquate Beurteilung der Karies schwer zugänglich machen [Lussi 1993]. Die Remineralisation der Schmelzschicht scheint also durch die regelmäßige Anwendung von Fluorapatit in solchem Maße gefördert zu werden, dass sie die voranschreitende Dentinläsion im Inneren verhüllen kann [Lussi 1993]. Dieser Umstand könnte erklären, dass die Sensitivität für die klinische Inspektion der Okklusalkaries bestenfalls bei 20 % liegt [Lussi, 1998].

Nach Ricketts et al. [1997] soll durch eine verbesserte visuelle Untersuchung an gereinigten und getrockneten Zähnen der Punkt erreicht werden können, an dem die „hidden caries“ diagnostisch ausschließbar wird, da sie bereits visuell detektiert werden kann. Die sorgfältige visuelle Inspektion der Mundhöhle stellt demnach die Grundlage einer adäquaten Befundung dar, mit der selbst versteckte Läsionen dargestellt werden können.

Ein standardisiertes visuelles Detektionssystem, mit dem sich alle Abstufungen der Zahnkaries von der kleinen Schmelzläsion bis zur manifesten Dentinkaries erfassen lassen, ist das „International Caries Detection and Assessment System“ (ICDAS) [Pitts 2004].

Basierend auf einer Reihe von Entwicklungen in der Karies Klassifizierung aus dem Jahr 2002 durch die „ICDAS Foundation“ sowie auf Tagungen zum Karies-Management in den Jahren 2010 und 2011 wurden auf einem internationalen Workshop im Jahr 2012 an der „Temple University Maurice H. Kornberg School of Dentistry“ verschiedene Systeme zur Erkennung von Karies, Risikobewertung, und Karies-Management überprüft.

Einig waren sich die Teilnehmer darüber, dass das Ziel eines neuen Karies-Management Systems darin liegen müsse, Zahnschmelz zu erhalten und nur dann zu ersetzen, wenn es absolut notwendig sei [Ismail et al. 2013].



Folgende Ziele wurden definiert:

- Das Erreichen und die Aufrechterhaltung der oralen Gesundheit.
- Verhinderung der Progression bestehender Initialläsionen sowie die Regeneration moderater als auch schwerer Läsionen durch dem individuellen Kariesrisiko entsprechenden Behandlungsentscheidungen.
- Minimierung der operativen Intervention.

Nach weiteren Workshops in London und Liverpool, konnte letztlich das „International Caries Classification and Management System (ICCMS™)“ vorgestellt werden. Es stellt ein umfassendes Behandlungskonzept dar, das zur Umsetzung in der zahnmedizinischen Lehre und Praxis geeignet ist [Pitts et al. 2014].

## 2.7 Detektionsverfahren der Okklusalkaries

Eine der Aufgaben des Zahnarztes im klinischen Alltag ist es Karies zu diagnostizieren und zu behandeln. Dabei ist es besonders wichtig, den Prozess der Kariesentstehung möglichst früh zu erkennen und ein weiteres Fortschreiten zu verhindern.

Eine besondere Herausforderung ist es hierbei, den Progressionsgrad der Karies richtig einzustufen [Pine et al. 1996].

Durch die Beobachtung der Kariesprogression (Monitoring), soll bestimmt werden, wann eine adäquate Therapie angezeigt ist. Eine genaue Dokumentation des Läsionsgrades zu verschiedenen Zeiten ist dabei von entscheidender Bedeutung. Da die Progression von Individuum zu Individuum unterschiedlich ist, bestimmt man den Abstand zwischen diesen Kontrollen auf der Grundlage des individuellen Kariesrisikos. Zur Beurteilung der Kariesprogression ist es notwendig, objektive Methoden zur Kariesdiagnose einzusetzen, die kein Schadenspotenzial für den Patienten darstellen. Heutzutage stehen dem Behandler diverse Hilfsmittel zur Befundung und Detektion zur Verfügung um besonders in schwierigen Situationen die subjektive Beurteilung zu verifizieren und damit frühzeitig die richtige Behandlungsmethode zu wählen.

Nachfolgend werden verschiedene Detektionsverfahren beschrieben, die aktuell im klinischen Alltag zum Einsatz kommen.

## 2.8 Visuelle und kombiniert visuell-taktile Detektion

In den letzten Jahren haben sich unterschiedliche Studien mit dem Thema der visuellen Kariesdetektion beschäftigt. Hierbei wurde festgestellt, dass lediglich 20 % der kariösen Läsionen durch eine rein visuelle Betrachtung erkannt werden können [Wenzel *et al.* 1991, Lussi 1998]. Dennoch stellt die visuelle Inspektion die Grundlage der systematischen Kariesdiagnostik dar, und geht nach wie vor allen weiteren Diagnoseverfahren voraus.

Traditionell wurde die visuelle Detektion durch die taktile Inspektion mithilfe einer spitzen zahnärztlichen Sonde ergänzt. Diese Vorgehensweise wird heute als obsolet betrachtet, da sie vergleichsweise zur visuellen Diagnostik keinen weiteren Informationsgewinn bringt [Lussi 1991, Lussi 1998, Penning *et al.* 1992, Topping *et al.* 2009], aber iatrogen an demineralisierten Arealen sogar zusätzliche Schmelzdefekte verursachen kann [Ekstrand 1987, Ricketts 1995, Lussi *et al.* 2003, Kühnisch *et al.* 2007a/ 2010b, Topping *et al.* 2009].

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO), sowie zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen empfehlen stattdessen den Einsatz einer abgerundeten CPI- bzw. einer Parodontalsonde [Ismail 1997, WHO 1997, Topping *et al.* 2009, Kühnisch *et al.* 2010a]. Mit der stumpfen Sonde lassen sich durch druckloses Abtasten der Oberfläche gegebenenfalls Plaqueanlagerungen entfernen sowie Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit und Ausdehnung zahnfarbener Restaurationen und Versiegelungen erlangen. [Topping *et al.* 2009].

Nach Ekstrand *et al.* [1997] und Lussi *et al.* [1999] ist allerdings die Plaquefreiheit der zu beurteilenden Zahnflächen eine *conditio sine qua non*. Somit ist die Reinigung der Okklusal- und Glattflächen mit einer Bürste oder mittels Prophylaxekelch, sowie das Verwenden von Zahnseide für die Approximalflächen [Topping *et al.* 2009] eine grundlegende Voraussetzung für eine adäquate Diagnostik. Des Weiteren hat die Lufttrocknung der zu beurteilenden Areale entscheidenden Einfluss auf die Detektion von initialkariösen Defekten, die noch keine Kavitation aufweisen, da Mikroporositäten des Schmelzes als erstes Anzeichen einer Initialläsion nur im getrockneten Zustand erkannt werden können [Backer Dirks 1966, Ismail 1997, Topping *et al.* 2009].

Der initialkariös veränderte Schmelz weist Mikroporen auf, die sich bei der klinischen Lufttrocknung mit Sauerstoff füllen, wodurch sich die Transluzenz und Lichtbrechung des Schmelzes so verändert [Lussi *et al.* 2003, Topping *et al.* 2009], dass die Schmelzoberfläche ab einer Porösität von ca. 5 % weißlich opak erscheint. [Schroeder 1997]. Der Lichtbrechungsindex gesunder Zahnschmelzoberflächen liegt bei 1,62, für Wasser bzw. Speichel bei 1,33 und für Luft hingegen bei 1,0 [Silverstone 1967/1973].

Mit zunehmendem Mineralverlust wird die veränderte Lichtbrechung auch ohne Lufttrocknung der Schmelzoberfläche sichtbar [Topping et al. 2009].

Ekstrand et al. [1995] konnten den Zusammenhang von Schweregrad einer kariösen Läsion und ihrer histologischen Ausdehnung bereits nachweisen. Resultierend entspricht eine „White-Spot-Läsion“, die ausschließlich nach Lufttrocknung sichtbar wird, einer Läsion, die auf die äußere Schmelzschicht begrenzt bleibt. Defekte, die bereits im feuchten Zustand erkennbar sind (White- oder Brown-Spot-Läsion), weisen Läsionstiefen bis in die innere Schmelzschicht bzw. bis in das äußere Dentindrittel auf. Schmelzkavitationen ohne freiliegendes Dentin sowie Schattenbildungen im Dentin zeigen sich bei Läsionstiefen, die bis ins mittlere Dentindrittel vorgedrungen sind. Kavitäten mit exponiertem Dentin weisen auf eine Karies hin, die bis ins innere Dentindrittel vorgedrungen ist. Auf dieser Basis konnten von Ekstrand et al. [1998] allgemeine Kriterien zur visuellen Kariesdiagnostik erarbeitet werden, die bis heute als Grundlage dienen, eine adäquate Diagnostik zur Bestimmung der Kariesaktivität und ihres Ausdehnungsgrades schon bei der Erstinspektion zu realisieren.

Auf dem International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials (ICW-CCT) wurde 2002 das visuelle Kariesdiagnostiksystem „International Caries Detection and Assessment System“ (ICDAS) erarbeitet und 2005 in modifizierter Form als ICDAS-II vorgestellt [ICDAS Coordinating Committee 2005]. Es ermöglicht Läsionen auf Schmelz und Dentinniveau reproduzierbar zu erkennen und ist sowohl für epidemiologische und klinische Studien als auch für den klinischen Einsatz und für Ausbildungszwecke geeignet [Pitts 2011].

Die Befundung nach ICDAS wird an zuvor gereinigten Zahnflächen sowohl im feuchten, als auch im trockenen Zustand durchgeführt. Der ICDAS-II-Code setzt sich aus zwei Ziffern zusammen, wobei die erste Auskunft über den Versorgungsgrad, die zweite über den kariologischen Zustand des betroffenen Zahns gibt. Die Ausprägung der Läsion kann dabei anhand einer siebenstufigen numerischen Skala klassifiziert werden (Tab.1 und 2).

Das System erlaubt, dass jedem definierten Schwellenwert eindeutige Werte für die Sensitivität und Spezifität zugeordnet werden können. Trägt man nun für jeden Schwellenwert den Bereich der falsch positiven (1-Spezifität) gegen den Anteil der richtig positiven (Sensitivität) Werte in ein Koordinatensystem ein und verbindet die jeweiligen Punkte miteinander, so erhält man die sogenannte ROC Kurve (ROC = „Receiver Operating Characteristic“).

Die diagnostische Güte eines Tests kann durch die Fläche unter der ROC- Kurve (im englischen AUC = „area under the curve“) quantifiziert werden [Weiß 2010].

Code	Bedeutung
0	Keine Versorgung
1	Partielle Versiegelung
2	Volle Versiegelung
3	Zahnfarbene Restauration
4	Amalgamfüllung
5	Stahlkrone
6	Keramik-, Gold-, Verblendkrone, Veneer
7	Frakturierte / Verlorene Restauration
8	Provisorische Versorgung
9	Fehlender Zahn, wird weiter differenziert in:
96	Die Oberfläche kann nicht beurteilt werden
97	Zahn ist aufgrund von Karies verloren gegangen
98	Zahn ist aus anderen Gründen verloren gegangen
99	Zahn noch nicht durchgebrochen








Tabelle 1: ICDAS- Codierung für restaurative Versorgungen

Die Analysen der AUC, der Sensitivität und Spezifität auf D1- und D3- Niveau haben gezeigt, dass mit ICDAS-II exzellente Werte bezüglich der diagnostischen Güte mit hoher Spezifität und Sensitivität erreicht werden können (AUC 0,72 und 0,88) [Jablonski- Momeni et al. 2008/2009, Rodrigues et al. 2008]. In weiteren Studien konnte gezeigt werden, dass sogar noch höhere Ergebnisse möglich sind (AUC 0,89 und 1,0) [Braga et al. 2009a, Jablonski-Momeni et al. 2010, Jablonski-Momeni et al. 2012b].

Die Reproduzierbarkeitswerte für die Intra- und Interuntersucherübereinstimmung reichen von moderaten bis zu sehr guten Übereinstimmungen ( $\kappa = 0,54-0,90$ ) [Jablonski-Momeni et al. 2008, Kühnisch et al. 2008, Braga et al. 2009b, Jablonski-Momeni et al. 2009, Shoaib et al. 2009]. Die für das ICDAS-II ermittelten Korrelationswerte (Spearman's Koeffizient  $r_s$ ) liegen verglichen mit der histologischen bzw. klinischen Ermittlung der Läsionsausdehnung zwischen 0,43 und 0,87 [Jablonski-Momeni et al. 2008, Rodrigues et al. 2008, Jablonski-Momeni et al. 2010, Jablonski-Momeni et al. 2012a und b]. Bei Werten ab 0,70 und höher kann von einer starken Korrelation ausgegangen werden. Die Verbesserungen der Untersuchungsergebnisse durch optische Vergrößerungshilfen konnte nicht nachgewiesen werden [Haak et al. 2002, Mendes et al. 2006, Mitropoulos et al. 2012], dennoch können sie als unterstützendes Instrument zur visuellen Inspektion hilfreich sein [Kühnisch et al. 2010b]. Neuere Studien von Neuhaus et al. [2013] zum Einfluss verschiedener Vergrößerungshilfen auf die Kariesdetektion gemäß der ICDAS-Kriterien haben gezeigt, dass prinzipiell zwar eine Steigerung der

Sensitivität zu beobachten ist, dies jedoch mit einem Sinken der Spezifität zusammenfällt, was im schlechtesten Fall zu übermäßigen bzw. unnötigen Therapiemaßnahmen führen kann.

Tabelle 2: ICDAS-II-Kriterien (gemäß ICDAS Coordinating Committee [2009])

ICDAS-code	Okklusalflächen	
<b>Code 0</b> = gesund, keine Hinweise auf kariöse Veränderung nach Lufttrocknung (5s), Strukturanomalien, gilt ebenfalls für Attritionen, Erosionen, intrinsische und extrinsische Verfärbungen		
<b>Code 1</b> = erste visuelle Veränderung des Schmelzes; wird erst nach Lufttrocknung erkennbar oder bleibt auf Fissuren und Grübchen begrenzt		
<b>Code 2</b> = deutliche visuelle Veränderung des Schmelzes (White- oder Brown-Spot-Läsion), die sowohl an der feuchten, als auch an der getrockneten Zahnoberfläche erkennbar; die natürliche Begrenzung der Fissur wird überschritten.		
<b>Code 3</b> = lokalisierte Einbruch des Schmelzes ohne Dentinexposition; nach Trocknung ist ein Verlust der Schmelzstruktur erkennbar; Läsion ist mittels Kugelkopfsonde tastbar		
<b>Code 4</b> = dunkler Schatten im darunter liegenden Dentin, mit oder ohne Schmelzeinbruch. Der Code gilt für die Fläche, von der die Läsion ausgeht.		
<b>Code 5</b> = deutliche Kavitation mit sichtbarem Dentin, Die Ausdehnung ist kleiner als die Hälfte der entsprechenden Zahnfläche. Zur Beurteilung kann eine Sonde mit kugelförmigem Arbeitsende verwendet werden.		
<b>Code 6</b> = ausgedehnte deutliche Kavitation mit sichtbarem Dentin; mindestens die Hälfte der zu beurteilenden Zahnfläche ist betroffen, die Läsionstiefe reicht möglicherweise bis zur Pulpa.		

## 2.9 Radiologische Kariesdetektion

Zur Diagnose dentaler Läsionen im Milch- und bleibenden Gebiss ist die röntgenologische Kariesdetektion nach wie vor das am häufigsten eingesetzte Mittel zur Erfassung approximaler Defekte und soll die visuelle Inspektion insbesondere bei unklarer Genese ergänzen (Abb.1).

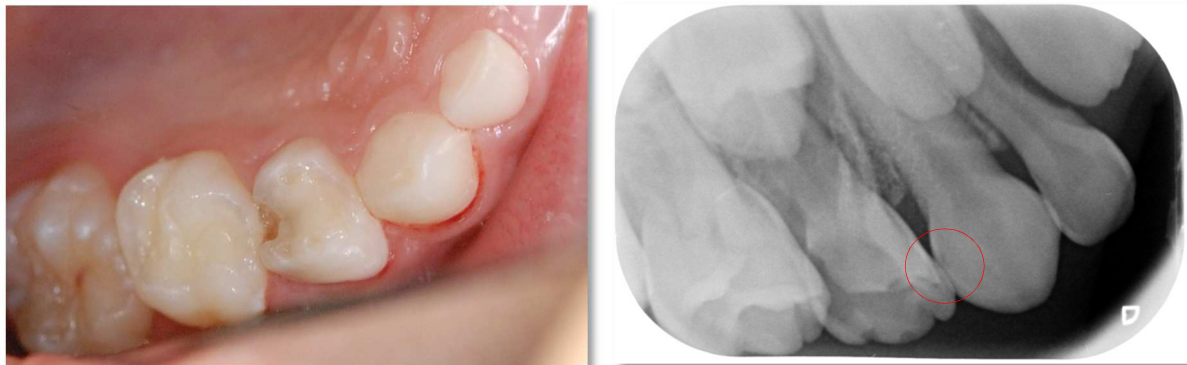


Abbildung 1: Approximalläsion an Zahn 53, visueller Befund und Röntgenkontrolle

Dabei sind Bissflügelröntgenaufnahmen heute die gängige Aufnahmetechnik, um alle Approximalräume der Molaren und Prämolaren einer Gesichtshälfte adäquat zu erfassen [Heinrich-Weltzien et al. 2007].

Die diagnostische Güte dieser Aufnahmetechnik zur Okklusalkariesdiagnostik wurde hingegen lange unterschätzt [Kühnisch et al. 2007b, Heinrich-Weltzien et al. 2008]. Klinische Studien konnten jedoch belegen, dass durch Bissflügelaufnahmen bei Kindern und Jugendlichen an 50 % aller untersuchten Molaren „versteckte“ okklusale Dentinläsionen detektiert werden können [Kühnisch et al. 2007b, Heinrich-Weltzien et al. 2008, Kühnisch et al. 2010b]. Allerdings sind schmelzbegrenzte Initialläsionen, die von okklusalen Fissuren und Grübchen ausgehen, aufgrund von Überlagerungen häufig nicht diagnostizierbar [Kühnisch et al. 2010b]. Ist der Defekt aber bis ins Dentin fortgeschritten, liegt eine signifikant höhere Keimbesiedelung mit Laktobazillen und Mutansstreptokokken vor als bei röntgenologisch unsichtbarer Karies [Ricketts et al., 1995b]. Des Weiteren können Bissflügelaufnahmen zur Diagnose von Sekundärkaries, Kronen-bzw. Füllungsrandintegrität, Konkrementanlagerungen, parodontaler Knochenbeschaffenheit, Aplasien, überzähliger Zähne etc. herangezogen werden. [Kühnisch et al. 2005, Kühnisch et al. 2008]. Um falsch positive Befunde zu vermeiden, muss der Behandler seine Diagnose immer gegen mögliche röntgenologische „Artefakte“ abgrenzen. Hierbei

spielen insbesondere Summationseffekte, trianguläre Radioluzenzen, Bildverzerrungen, schadhafte Röntgenträger bzw.-sensoren u.v.m. eine entscheidende Rolle [Kühnisch et al. 2007c, Heinrich-Weltzien et al. 2008].

In zahlreichen Studien wurde die Reproduzierbarkeit sowie die Sensitivität und Spezifität der radiologischen Diagnostik an okklusalen Läsionen ermittelt. Die  $\kappa$ -Werte für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit lagen zwischen 0,31 und 0,84 bzw. für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit zwischen 0,45 und 0,86 [Lussi 1993, Lussi 1996, Ekstrand et al. 1997, Thomas et al. 2001].

Bader et al. [2001] fassen in einer systematischen Übersichtsarbeit die mittleren Sensitivitäten zwischen 39 % und 53 % sowie die mittleren Spezifitäten zwischen 76 % und 91 % zusammen. In einigen Studien wird belegt, dass radiologische Verfahren eine höhere Sensitivität aufweisen als die visuelle Kariesdetektion [Lussi et al 2003, Wenzel 2004].

Gemäß Röntgenverordnung (RöV §23) muss zum Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlung eine rechtfertigende Indikation vor Durchführung einer radiologischen Untersuchung vorliegen. Diese erfordert die Feststellung, dass der gesundheitliche Nutzen der Anwendung am Menschen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Der Einsatz anderer Verfahren mit vergleichbarem gesundheitlichem Nutzen, die mit keiner oder geringerer Strahlenexposition verbunden sind, ist bei der Abwägung zu berücksichtigen.

In der Diskussion rechtfertigender Indikationen von Bissflügelaufnahmen müssen also die gesetzlichen Vorgaben (§ 23 RöV), das individuelle Kariesrisiko und der Altersbezug berücksichtigt werden. Für Deutschland sind bislang noch keine Empfehlungen zur zahnärztlichen Anwendung von Röntgenbildern im Kindes- und Jugendalter verfügbar. Seit 2003 liegen für Europa von der Europäischen Akademie für Kinderzahnheilkunde (EAPD) entsprechende Leitlinien vor.

Seitens (inter-)nationaler Autoren und einzelner Fachgesellschaften existieren des Weiteren unterschiedliche Empfehlungen zur Kariesdetektion unter Berücksichtigung des Kariesrisikos und des Lebensalters (Tab.3).

Hierbei lassen sich folgende Gesichtspunkte zusammenfassen:

Bissflügelaufnahmen werden vorrangig im späten Milchgebiss (~5. Lj.), zu Beginn der zweiten Wechselgebissphase (8./9. Lj.) und wenige Jahre nach Abschluss der bleibenden Dentition (14.-17. Lj.) als besonders nützlich betrachtet.

Allen Empfehlungen zufolge sind pauschalisierte Zeitintervalle zur wiederholten Anfertigung von Bissflügelaufnahmen (Monitoring) zu beachten. Für Nicht-Risikopatienten sind im Allgemeinen drei Jahre, im Fall von Risikopatienten ein Jahr empfohlen. Hierbei bleibt zu

beachten, dass diese Empfehlungen in mancher Hinsicht aus Zeiten bzw. Regionen und Ländern mit zum Teil hoher Kariesprävalenz, und rascher Kariesprogression stammen (Tab.3).

Tabelle 3: Internationale Empfehlungen zur röntgenologischen Kariesdetektion

	BF-Kontrollintervall		
Alter bzw. Dentitionsalter bei Erstanfertigung der BF	Niedriges Kariesrisiko/ Ø klinische Karies	Mittleres Kariesrisiko	Hohes Kariesrisiko/ Ø klinische Karies
[Pitts & Kidd 1992]			
3-6 Jahre	2 Jahre	1 Jahr	6 Monate
7-13 Jahre	1-2 Jahre		
14-17 Jahre	2 Jahre		
Ab 18 Jahre	2 Jahre		
European Academy of Paediatric Dentistry (EAPD) [Mejare et al. 2001] (*6 Monate bei unversorgten Dentinläsionen)			
5 Jahre	3 Jahre	-	1 Jahr
8-9 Jahre	3-4 Jahre		1 Jahr
12-16 Jahre	2 Jahre		1 Jahr *
Ab 16 Jahren	3 Jahre		1 Jahr *
American Academy of Pediatric Dentistry (AAPD) [American Dental Association 2009] (*wenn Approximalflächen klinisch nicht beurteilbar sind)			
Milchgebiss *	12-24 Monate	-	6 Monate
Wechselgebiss			
Bleibendes Gebiss Jugendlicher (bis zum Durchbruch der 3. Molaren)	18-36 Monate		6-12 Monate
Erwachsener	24-36 Monate		12-18 Monate
[Mejare 2005] (*6 Monate bei unversorgten Dentinläsionen)			
5 Jahre	3 Jahre	-	1 Jahr
8-9 Jahre	3-4 Jahre		1 Jahr
12-13 Jahre	2 Jahre		1 Jahr *
15-16 Jahre	3 Jahre		1 Jahr *



Unter Berücksichtigung von §23 RöV ist daher die Forderung nach einer individualisierten Entscheidung für jeden einzelnen Patienten zu nennen. Neben der Altersgruppe und dem jeweiligen Kariesrisiko kann das Progressionsstadium (D- Klassifikation) vorhandener Läsionen als Orientierungshilfe bei der individuellen Entscheidung zur röntgenologischen Verlaufsdagnostik dienen.

Um eine genaue Aussage über den Aktivitätszustand einer Läsion zu treffen, reicht jedoch eine einzelne röntgenologische Untersuchung nicht aus [Wenzel 2004]. Hierfür müssen zeitliche Intervalle zur Vergleichsuntersuchung in Abhängigkeit vom individuellen Kariesrisiko adäquat festgelegt werden. Empfehlenswerte Zeitabstände für Wiederholungsaufnahmen bei bleibender Dentition im Approximalbereich sind:

- keine erkennbare Läsion: vier Jahre
- Läsion auf äußere Schmelzhälfte begrenzt: zwei Jahre
- Läsion bis in die innere Schmelzhälfte reichend: ein bis zwei Jahre.

Bei stagnierender Läsionsprogression über mehrere Kontrollintervalle hinweg, können die Abstände individuell ausgedehnt werden [Kühnisch et al. 2007b].

## **2.10 Fluoreszenz-basierende Kariesdetektion**

### **2.10.1 Physikalische Grundlagen**

Als Fluoreszenz bezeichnet man die spontane Emission von Licht kurz nach der Anregung eines Materials (Festkörper, Flüssigkeiten und Gase). Sie kann mit Licht, Röntgen- oder Korpuskularstrahlung angeregt werden [Gerthsen et al. 1999]. Das emittierte Licht ist in der Regel energieärmer als das vorher absorbierte. Fluoreszenz wurde erstmals 1852 von George Gabriel Stokes beschrieben [Stokes 1851-54]. Das Wort „Fluoreszenz“ leitet sich von dem fluoreszierenden Mineral Fluorit (Flussspat, Calciumfluorid,  $\text{CaF}_2$ ) ab. Die Fluoreszenz sowie die Phosphoreszenz zählen zur Lumineszenz, welche wiederum die Emission von Strahlung beschreibt. Der Unterschied liegt in der Dauer der jeweiligen Lichtemission: diese endet bei der Fluoreszenz innerhalb von Sekundenbruchteilen nach Ende der Anregung, wobei sie bei der Phosphoreszenz bis zu einigen Stunden andauern kann [Lichtscheidl 2009].

Die Atome des Fluoreszenzstoffes, auch Fluorophore genannt, absorbieren die Energiequanten der einfallenden Strahlung und werden dadurch auf ein angeregtes Energieniveau gehoben. Die Aussendung des charakteristischen Fluoreszenzlichts (spontane Emission) bewirkt eine Energieabgabe, wodurch sie wieder ihren Grundzustand erreichen. Das bei dieser Reaktion emittierte Licht ist nach Stokes immer langwelliger und energieärmer als das absorbierte (Stokes-Shift, Abb.2).

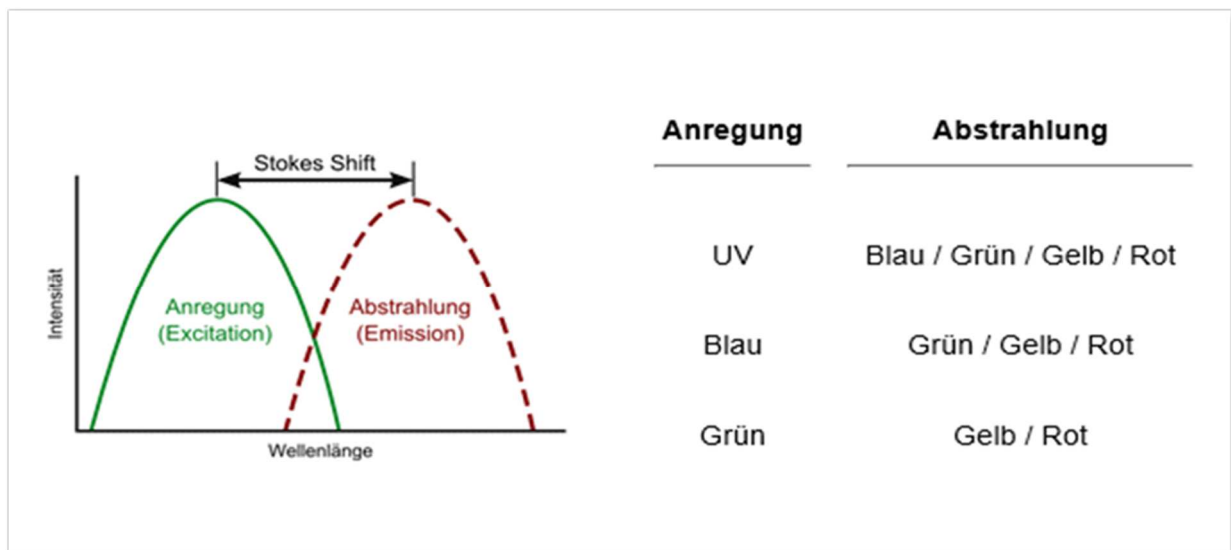


Abbildung 2: Stokes-Shift; Quelle: Core Facility Cell Imaging und Ultrastrukturforschung, Universität Wien.

Dieses Phänomen wurde bereits im 16. Jahrhundert beobachtet und konnte 1852 dann von Stokes als Fluoreszenzspektroskopie für die Forschung nutzbar gemacht werden.

Die Fluoreszenz einer Substanz lässt sich sehr genau bestimmen, da es einfach möglich ist, die Fluoreszenzemission fast vollständig von der Anregung zu trennen. Die Möglichkeit somit kleinste Substanzkonzentrationen zu bestimmen, macht die Fluoreszenz zu einem sehr vielseitigen Hilfsmittel in der Biophysik. Das Fluoreszenzspektrum stellt die Intensität der Fluoreszenz in Abhängigkeit von der Wellenlänge dar. Man unterscheidet Anregungs- und Emissionsspektrum. Die Abhängigkeit der Fluoreszenzintensität von der Emissionswellenlänge bei fester Anregungswellenlänge bezeichnet man als Fluoreszenzemissionsspektrum, die Abhängigkeit der Fluoreszenzintensität von der Anregungswellenlänge bei fester

Emissionswellenlänge hingegen als Fluoreszenzanregungsspektrum [Demtröder 2000, Wie 1998].

In der Zahnmedizin wird dem Fluoreszenzspektrum die größte Bedeutung zugemessen. Bei der Auswertung des emittierten Fluoreszenzlichts bedient man sich bestimmter Filtersysteme, sogenannter Long-Pass-Filter. Es handelt sich hierbei um eine quantitative licht- oder laserinduzierte Fluoreszenzmessung [Rosen 2010].

Stübel [1911] wies erstmals die Fluoreszenz an Zahnhartsubstanzen bei Bestrahlung mit ultravioletter Licht nach. Benedict [1929] fand daraufhin heraus, dass eine Initialläsion ein reduziertes Fluoreszenzsignal entsendet. Außerdem konnte er nachweisen, dass durch Dentin im Vergleich zum Schmelz mehr Fluoreszenzlicht emittiert wird. Das Fluoreszenzmuster beider Zahnhartsubstanzen verändert sich bei der Entstehung einer Karies, wobei umso mehr Fluoreszenz auftritt, je höher der Demineralisationsgrad von Schmelz und Dentin ist.

König et al. [1998] vermuteten, dass Stoffwechselprodukte bestimmter kariesrelevanter Bakterien, sogenannte Porphyrinderivate für diese Fluoreszenz verantwortlich sein könnten. Buchalla et al. [2008] kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Obwohl noch nicht alle ursächlichen Porphyrine identifiziert wurden, konnten durch die Autoren die Rolle des Protoporphyrins IX, und der Coproporphyrine I und II bei der Fluoreszenzentstehung bestimmt werden.

Heute existieren in der Zahnheilkunde mehrere Systeme zur laser- und lichtinduzierten Kariesdiagnostik.

### 2.10.2 Porphyrine

Nach Anregung mit kurzwelligem Licht sendet kariöse Zahnhartsubstanz ein rotes Fluoreszenzsignal aus. Die hierbei detektierten Porphyrine (Protoporphyrin IX) sind Stoffwechselprodukte von kariesaktiven Bakterien, die sich in den demineralisierten Bereichen der Zahnhartsubstanz angesiedelt haben [König et al. 1999].

Porphyrene, auch als Fluorophore bezeichnet, zählen zu den Substanzen mit fluoreszierenden Eigenschaften (Autofluoreszenz). Substanzen die ebenfalls fluoreszierende Eigenschaften aufweisen, sind Mineralien, Bakterien, Pilze, Keratin und Kollagen [Walsh et al. 2008].

Die „International Union of Pure Applied Chemistry“ (IUPAC) deklariert alle Substanzen, die vier Pyrrole oder Pyrrol ähnliche Ringe beinhalten und über Kohlenstoff oder Stickstoffbrücken miteinander verbunden sind, als Tetrapyrrole.

Sie sind als molekularer Bestandteil verschiedener Proteine an grundlegenden Prozessen in der Natur beteiligt. Ihre Synthese findet in spezifischen Zellen von Säugern, Pflanzen und Bakterien statt. Porphyrine sind an wichtigen Stoffwechselprozessen, wie z. B. dem Sauerstofftransport im Blut (Hämoglobin), der Sauerstoffspeicherung in den Muskeln (Myoglobin), Redoxkatalisation der Atmungskette (Cytochrome), Photosynthese in grünen Pflanzen (Chlorophyllbiosynthese) und bei der Bildung von Vitamin B12 beteiligt. Sie werden ebenfalls als Zwischenschritte bei der Hämbiosynthese produziert.

Kariogene Bakterien sowie pathogene Parodontalkeime des Biofilms produzieren ebenfalls Porphyrine. Zu diesen Bakterien gehören *Bacteroides intermedius*, *Actinomyces odontolyticus*, *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella species*, *Corynebakterien* und *Actinobacillus acinomyetemcomitans*, *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus acidophilus*. Von *Lactobacillus casei* und *Fusobacterium nucleatum* werden keine Porphyrine produziert, weshalb sie kein Fluoreszenzverhalten aufweisen [König et al. 1993, Buchalla et al. 2005], wohingegen *Streptococcus mutans* als Hauptverursacher kariöser Defekte ein geringes Fluoreszenzverhalten im roten Spektralbereich aufweist.

Es bleibt noch zu klären, ob die genannten Porphyrine alleine für die Fluoreszenz kariöser Läsionen ursächlich sind, oder ob noch andere Faktoren bei der Entstehung der induzierten Kariesfluoreszenz von Bedeutung sind [Krause 2008].

### 2.10.3 VistaProof®-System

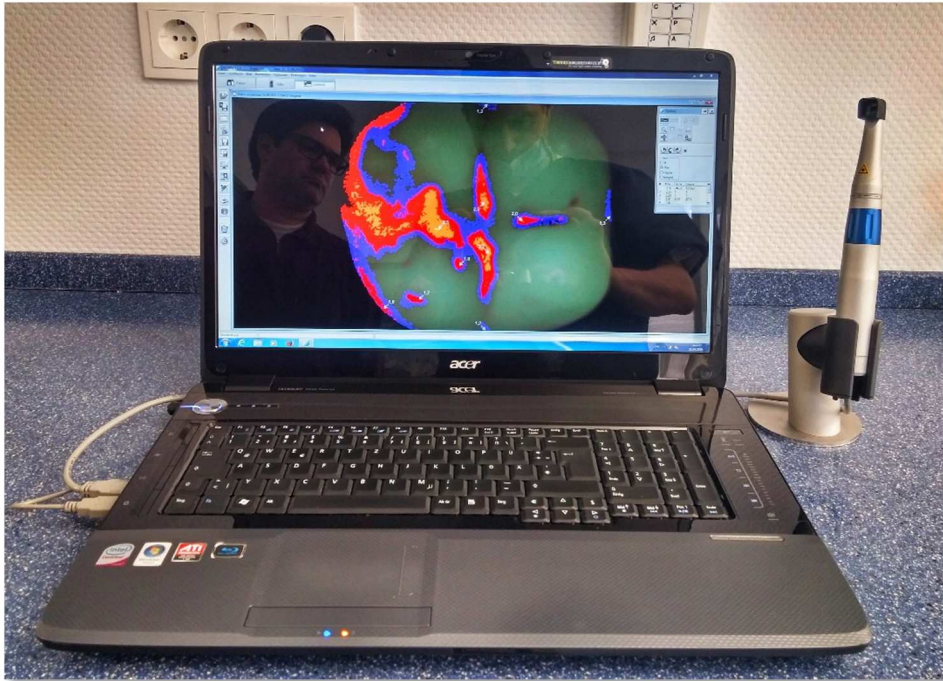


Abbildung 3: Intraoralkamera VistaProof (Dürr-Dental AG), Anwendung in der Praxis.

Die Firma Dürr Dental AG (Bietigheim-Bissingen) führte 2007 das intraorale Kamerasystem-VistaProof auf dem Markt (Abb.3) ein. Es handelt sich bei diesem Gerät um eine Modifikation der Intraoralkamera Vista Cam zu Kariesdiagnosezwecken, wobei die ursprünglichen weißen LEDs am Kamerakopf durch insgesamt sechs blaue Galliumnitrid-(GaN-) Leuchtdioden ersetzt wurden. Bei einer Leistung von 60 mW emittieren diese Dioden blau-violettes Licht der Wellenlänge 405 nm.

Die zu untersuchende Zahnoberfläche wird nun nach vorangegangener professioneller Reinigung mit dieser kurzwelligen, hochenergetischen Lichtquelle beleuchtet. Gesunde Zahnhartsubstanz (Dentin und Schmelz) zeichnet sich in der Bildgebung durch einen grünen Spektralbereich aus, wobei kariös veränderte Areale dagegen einen langwelligen, niederenergetischen roten Spektralbereich zeigen. Hierfür scheinen die diversen von kariesaktiven Keimen produzierten Metaboliten (Porphyrine) ursächlich zu sein, die bei der Wellenlänge von 405 nm (Soret- Bande) ihr Maximum an optischer Anregbarkeit erreichen.

Wie von *Thoms [2006]* nachgewiesen werden konnte, fällt in gesunder Zahnhartsubstanz der Quotient der Fluoreszenzintensität kontinuierlich vom grünen bis in den roten Spektralbereich ab. Initialkariöse Areale zeigen einen vergleichbaren Verlauf, der jedoch von zwei Emissions-Peaks bei ca. 635 nm ( $\pm 5$  nm) und bei ca. 695 nm ( $\pm 5$  nm) überlagert wird. Porphyrine weisen in ihrem Emissionsspektrum identische Emissionsspitzen auf, was *Thoms [2006]* zu der Vermutung brachte, dass diese Metaboliten für die rote Fluoreszenz verantwortlich sein könnten. In der Tatsache, dass unterschiedliche Bakteriengruppen jeweils unterschiedliche Porphyrin-Typen produzieren, könnten die geringfügigen Fluktuationen in den jeweiligen Emissionsspektren begründet sein. Aber auch differierende Bedingungen für die jeweiligen Porphyrine, wie zum Beispiel Speichelkonzentration und pH-Wert wären als Ursache denkbar. Im Kopf der Kamera befindet sich eine optische Linse, mit der das intraoral angefertigte Bild der jeweiligen Zahnfläche auf einen CCD-Sensor (charge-coupled device, im deutschen: ladungsgekoppeltes Bauteil), im Handstück übertragen wird. Den Wellenlängenbereich

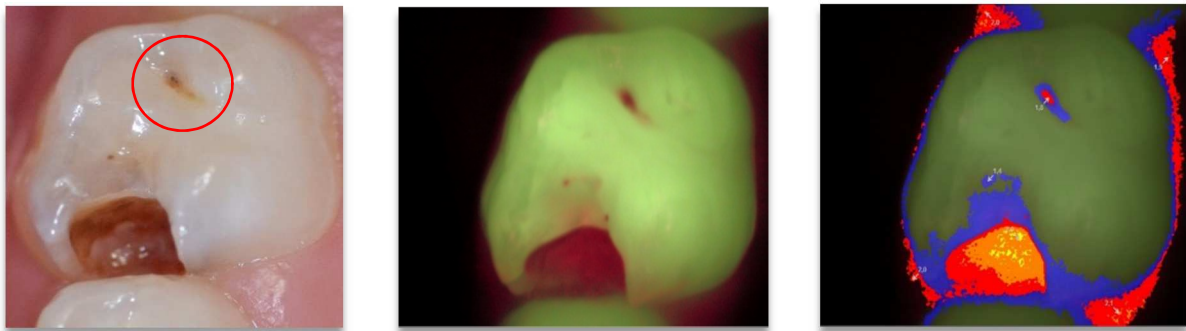


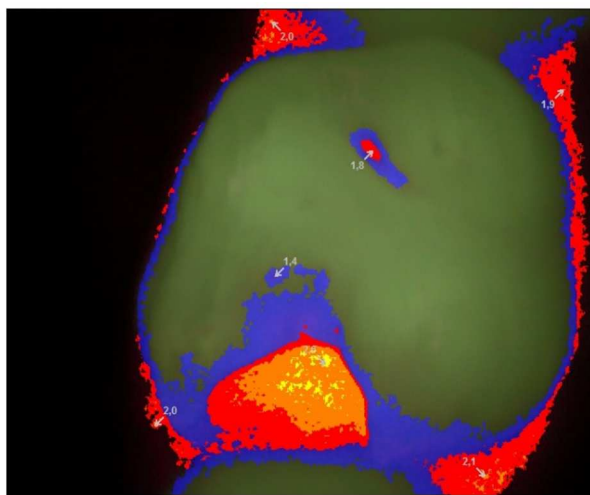
Abbildung 4: Detektion der Okklusalkaries: links und Mitte: OK- Milch-Molar (Fotografie Intraoralkamera) rechts: Fluoreszenzbild mit Auswertung (Werte mit Läsionsausdehnung gemäß Skala Abbildung 5)

unterhalb von 495 nm filtert ein vorgeschalteter optischer Langpassfilter heraus. Der CCD-Sensor wandelt die Daten des angefertigten Bildes in elektrische Signale um, welche zu Digitalbildern mit der Auflösung 720 (H)  $\times$  576 (V) Pixel (Abb.4 Mitte) und der Farbintensität von 3  $\times$  8 Bit umgerechnet werden. Mittels einer USB 2.0- Schnittstelle zwischen PC und VistaProof- Kamera wird die jeweilige Bildinformation übertragen und über die von Dürr Dental mitgelieferte DBSWIN-Software dargestellt (Abb.16).

Von *Thoms [2006]* durchgeführte Studien zeigen, dass fortgeschrittene Läsionen gegenüber Initialläsionen geringere absolute Intensitäten der Lumineszenz aufweisen, da die Braunfärbung der Kavität eine Resorption der Porphyrinlumineszenz bedingt.

Bei der Bestrahlung isolierter Kolonien von *Streptokokkus mutans* mit Licht der Wellenlänge 405 nm konnte hier ein signifikant höherer Quotient aus roter und grüner Fluoreszenz nachgewiesen werden als im Schmelz. Demnach ist zur Kariesdiagnostik nicht die absolute Lumineszenz von entscheidender Bedeutung, da *Streptokokkus mutans* zwangsläufig mit dem Kariesvorkommen vergesellschaftet ist. Entscheidend für die Auswertung ist vielmehr das Verhältnis von roter zu grüner Fluoreszenz, welches auf Bakterienakkumulation und den jeweiligen Zerstörungsgrad der Zahnhartsubstanz hinweist [Eberhart et al. 2007].

Die dem Kamerasystem zugehörige Software (DBSWIN) errechnet aus der vorliegenden Bildinformation einen Wert für den Schweregrad der vorliegenden Läsion, der im Bereich zwischen 0 und 4 dargestellt wird. Das System gibt dabei eine Einteilung vor, die wie folgt skaliert ist. (Abb.5)



Läsionsgrad	VP-Wert
Gesunder Zahnschmelz	0-0,9
Initialkaries	1,0-1,5
Schmelzkaries bis zur Schmelz-Dentingrenze	1,6-2,0
Schmelz-Dentingrenze überschritten	2,1-2,5
Tiefe Dentinkaries	>2,5

Abbildung 5: Karieseinteilung mit Skalierung DürrDental (DBSWIN)

Die Darstellung kariöser Defekte ist demnach auch im Inneren des Zahns unterhalb der Zahnoberfläche möglich, auch wenn mit zunehmender Distanz die Streuung des emittierten Lichts zunimmt [Thoms 2006].

Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass Licht der Wellenlänge 405 nm mehrere Millimeter in den Zahn vordringen kann um dort eine Fluoreszenz hervorzurufen. Erscheint die Fluoreszenz im kariösen Defekt nun rot, wird nur wenig rotes Licht von der Zahnhartsubstanz absorbiert. Im „Plaquemodus“ ist die VistaProof-Kamera zusätzlich in der Lage eine Bakterienakkumulation

in weichen und verhärteten Zahnbelägen ohne die Verwendung von Plaquerevelatoren darzustellen. Die Detektion zuvor angefärbter Beläge besonders im Approximalraum und in der Zahnhalsregion liefert dabei ebenfalls zuverlässige Ergebnisse [Raggio *et al.* 2010].

Einen weiteren Aspekt in der Karieserfassung mit dem VistaProof- System sieht Thoms [2006] auch in der Motivationsmöglichkeit des Patienten. Da die aufgenommenen Bilder direkt über die DBSWIN-Software angezeigt werden können und der Zustand der betroffenen Region anschaulich über die farbcodierte Skalierung dargestellt werden kann, ist der Wert des Systems hinsichtlich Patientenmotivation und Prophylaxemaßnahmen besonders hervorzuheben. Durch die Möglichkeit der Datenspeicherung und Verwaltung im Sinne eines Monitorings ist die Verlaufskontrolle für Behandler und Patient leicht nachzuvollziehen.

Gegenüber der Laserfluoreszenzmethode bietet das VistaProof- System den Vorteil, dass durch die höhere Ortsauflösung eine schnellere Beurteilung in einem größeren Areal ermöglicht wird. Durch die Verwendung von kurzwelligerem Licht im Bereich der Soret-Bande können die jeweiligen Porphyrine effizienter zur Fluoreszenz angeregt werden. Die höhere optische Leistung von 60 mW übersteigt die des mit unter 1 mW arbeitenden DIAGNOdent-Geräts (KaVo) [Thoms 2006].

In den letzten Jahren wurde die Anwendung der VistaProof-Kamera zur Kariesdetektion in verschiedenen Studien untersucht. *Rodrigues et al.* [2008] führte in der Entwicklungsphase des Systems eine Untersuchung an 119 extrahierten bleibenden Molaren durch, die anschließend in histologischen Feinschliffen auf Höhe der kariösen Defekte untersucht wurden. Mit diesem Verfahren konnte für VistaProof eine Sensitivität von 0,86 und eine Spezifität von 0,63 ermittelt werden. Für die Reproduzierbarkeit ergab sich ein ungewichteter Intra-Untersucher- Kappawert von 0,61 und ein Inter-Untersucher-Kappawert Wert von 0,58. In einer später durchgeführten Studie von *Rodrigues et al.* [2011] wurde nach gleichem Verfahren an 97 extrahierten bleibenden Molaren eine Sensitivität von 0,75 (D1 Niveau) bzw. 0,96 (D3 Niveau) und eine Spezifität von 0,71 (D1) bzw. 0,70 (D3) ermittelt. Der Spearman Rangkorrelationskoeffizient lag bei 0,58, des Weiteren ergaben sich ein Interuntersucher ICC von 0,87 und ein Intrauntersucher ICC von 0,90.

In einer in- vitro- Studie von *De Benedetto et al.* [2011] an 129 Milchmolaren konnte für das VistaProof-System hinsichtlich der Diagnose von Okklusal- sowie Glattflächenkaries eine hohe Interuntersucher Reproduzierbarkeit nachgewiesen werden. *Ruckhofer und Städler* [2010] konnten für das VistaProof System für die Diagnose der okklusalen Karies ähnliche Ergebnisse im Vergleich zur visuellen Detektion nachweisen.



*Rosen et al. [2009]* ermittelten für die Intra-Untersucher- Reproduzierbarkeit ICC- Werte zwischen 0,81 und 0,95 sowie für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen ICC von 0,76.

In einer klinisch durchgeführten Studie von *Matos et al. [2011]* an 407 Milchmolaren mit kariösen Läsionen auf Dentinniveau konnten Sensitivitätswerte zwischen 0,91 und 1,00 sowie Spezifitätswerte zwischen 0,88 und 0,90 erreicht werden.

Die Dürr Dental AG stellte 2011 das Nachfolgemodell von VistaProof als VistaCam iX erstmals vor. Es handelt sich hierbei um ein Handstück, das mit mehreren Wechselköpfen ausgestattet ist. Für den Aufsatz der Fluoreszenzkamera konnte in einer ersten Studie von Jablonski-Momeni et al [2012b] eine hohe Korrelation zwischen den Ergebnissen von VistaProof, VistaCam iX und visueller Inspektion ermittelt werden.

Seit März 2015 ist nun auch die neue VistaCam iX HD auf dem Dentalmarkt erhältlich. Hierbei handelt es sich ebenfalls um ein Multikopf-Kamerasystem mit HD-Bildqualität bei maximaler Auflösung von 1280 (H) × 1024 Pixel (V).

Neben der Detektion kariöser Läsionen ist die Verlaufskontrolle („Monitoring“) an klinisch gesunden Zahnoberflächen als auch an solchen mit initialen Läsionen ohne invasiven Behandlungsbedarf Hauptbestandteil der zahnärztlichen Inspektion. Sollte sich innerhalb des Beobachtungszeitraums eine initiale Läsion verändern, kann eine weitere Progression durch geeignete Maßnahmen weitestgehend verhindert werden. Das VistaProof-System eignet sich sehr gut zum Kariesmonitoring, da die Fluoreszenzbilder über die zugehörige Software DBSWIN gespeichert und jederzeit wieder aufgerufen werden können, was mit anderen Geräten nicht oder nur bedingt möglich ist. Ziel dieser in-vivo-Studie war es, den klinischen Einsatz der VistaProof-Kamera wissenschaftlich zu evaluieren und deren Eignung im zahnärztlichen Alltag zu untersuchen.

### 3 Zielsetzung und Fragestellungen

Die Karies ist eine chronisch destruktive Erkrankung der Zähne und gilt nach wie vor als häufigstes Krankheitsbild der Mundhöhle. Im bleibenden Gebiss sind vor allem die Okklusalfächen der ersten und zweiten Molaren am frühesten betroffen [*Hannigan et al. 2000*]. Die Progredienz der Läsion, bis zur schließlich behandlungsbedürftigen Kavität, ist dabei jedoch von sehr vielen Faktoren abhängig. Die Prävalenz der Karies in den westlichen Industrieländern ist mit über 90 Prozent bei Erwachsenen die häufigste und am weitesten verbreitete ernährungsabhängige Zivilisationserkrankung.

Im Jahr 2010 lag weltweit bei ca. 2,4 Milliarden Menschen eine unbehandelte Karies vor, was etwa 35 Prozent der Weltbevölkerung entspricht. Zu diesem Ergebnis kommt eine internationale Studie unter der Leitung der Queen Mary University of London, welche die Mundgesundheit, als Teil der globalen Krankheitslast (engl. Global Burden of Disease = GBD), untersuchte [*Marcenes et al. 2013*]. Hierbei wurden über den Zeitraum von 20 Jahren (1990 bis 2010), 378 Studien mit 4,7 Mio. Teilnehmern, analysiert.

Für *Marcenes* ist die Hauptursache in der Ernährung zu finden, insbesondere durch häufigen Konsum großer Mengen zucker- und säurehaltiger Nahrungsmittel und Getränke.

Die Kosten, welche aus Zahnerkrankungen resultieren, machten laut WHO 2003 rund 5 bis 10 Prozent der weltweiten Gesundheitskosten aus und stellen somit eine größere wirtschaftliche Belastung dar als die Behandlung kardiovaskulärer Krankheiten, Krebs oder Osteoporose in industrialisierten Ländern [*WHO/FAO 2003, Marcenes et al. 2013*].

Desweiteren führt die unbehandelte Karies und ihre Auswirkungen auf den allgemeinen Gesundheitszustand, bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen, zu Ausfällen bzw. Leistungsabfällen in Schule und Beruf.

Die Aufgabe des Zahnarztes liegt heute somit vermehrt in der frühzeitigen Detektion initialer Läsionen und in der Auswahl adäquater Präventions- und Therapiemaßnahmen zum richtigen Zeitpunkt. Der Behandler kann heute auf mehrere technische Methoden zurückgreifen um seine visuelle Inspektion zu unterstützen. Technische Diagnoseverfahren haben jedoch immer produktspezifische Charakteristika, die ihr Einsatzgebiet und ihre Anwendung limitieren.

Derzeit liegen keine publizierten klinischen Studien vor, die die Anwendung der fluoreszenzbasierten Kamera Vista-Proof im Rahmen der Verlaufskontrolle erfassen.

Das Ziel der vorliegenden in-vivo-Studie war es, die Anwendung der Vista-Proof- Kamera beim Monitoring zu überprüfen und mit der visuellen Kariesdetektion zu vergleichen.

Die zugrunde liegenden Hypothesen waren:

1. Fluoreszenzmessungen mit Vista-Proof zeigen zu jedem Messzeitpunkt eine signifikant positive Korrelation zum visuellen Verfahren ICDAS.
2. VistaProof und ICDAS können kariöse Veränderungen der Zahnhartsubstanz gleichermaßen erfassen.

## 4 Probanden und Methode

### 4.1 Studienvorbereitung und Untersuchertraining

Vor Beginn der Studie lag das positive Votum der Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Philipps- Universität Marburg vor. Die gesamte Untersuchungsreihe wurde in einer Zahnarztpraxis durchgeführt. Der behandelnde Zahnarzt (Gabriel Vill) verfügte zu Beginn der Studie über ca. 5 Jahre Berufserfahrung und führte alle Untersuchungen zu allen Messzeitpunkten durch. Der klinischen Untersuchung ging ein Untersuchertraining durch eine erfahrene Untersucherin (Prof. Dr. Anahita Jablonski- Momeni) in ICDAS und Anwendung der Fluoreszenzkamera voraus. Nach theoretischer Einweisung, Diskussion und praktischen Vorübungen an extrahierten Zähnen folgte ein Befundungstest an 30 extrahierten Zähnen. Innerhalb einer Woche wurden zweimal ICDAS-Befunde an den Okklusalfächen erhoben, sowie Messungen mit der Vista Proof-Kamera durchgeführt. Die Trainerin verfügte über hohe Erfahrungswerte mit ICDAS und Vista-Proof und konnte in vorangegangenen Studien hohe Reproduzierbarkeitswerte sowie eine gute diagnostische Güte aufweisen [*Jablonski-Momeni et al. 2008, 2010, 2014b*].

Die Fallzahlberechnung wurde mit den Programmen PASS 11, NCSS Version 11.0.7 durchgeführt. Im Rahmen eines "delayed type cross-sectional study"- Designs wurde der Umfang an Übereinstimmung zwischen dem visuellen Verfahren und den Fluoreszenzmessungen hinsichtlich der Maßzahlen für die diagnostische Güte (Sensitivität, Spezifität und zugehörige Konfidenzintervalle) ermittelt. Das visuelle Detektionsverfahren ICDAS diente dabei als Referenzstandard.

Auf literaturbezogene Angaben zur Sensitivität und Spezifität hin wurde eine Anzahl von 400 Zähnen zuzüglich einer Dropoutrate von 15 % ermittelt. Somit sollten insgesamt 460 Zähne für die Studie untersucht werden. Der gesamte Studienverlauf ist in Abb.6 als Kurzschema zusammengefasst dargestellt.

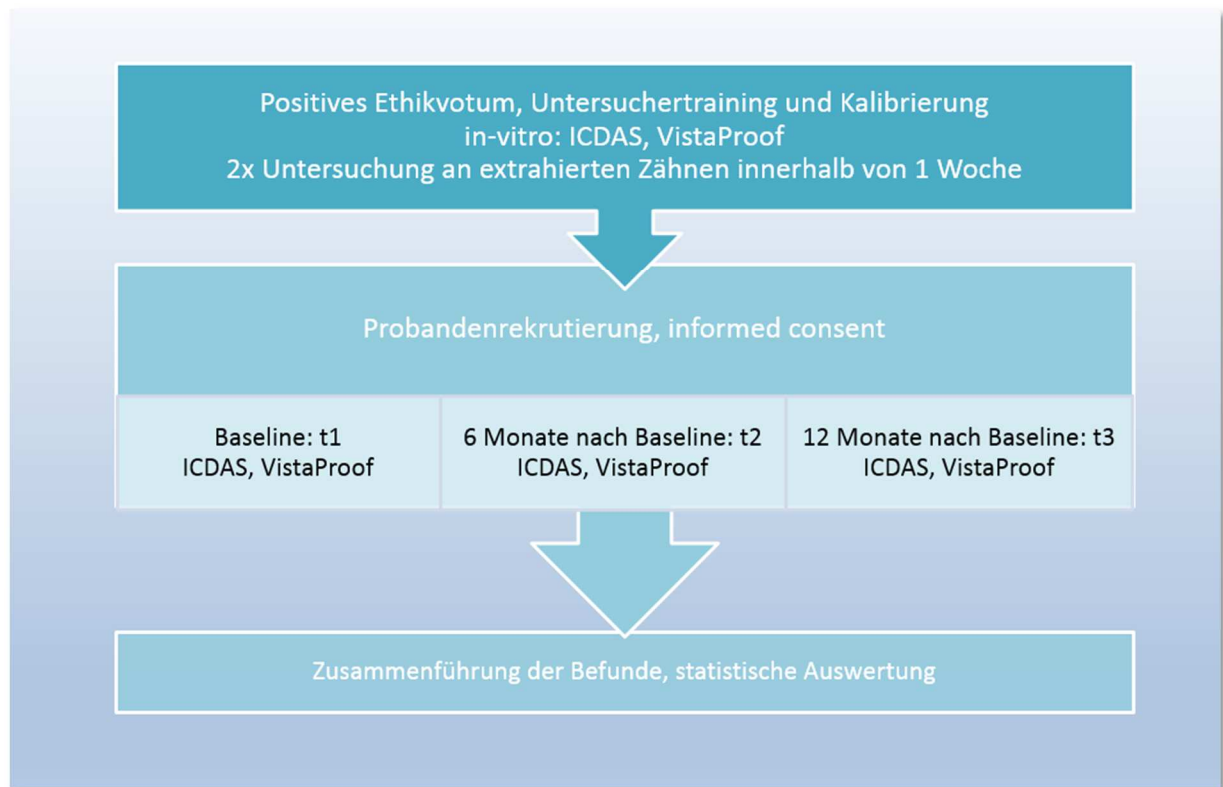


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Studienablaufs

## 4.2 Auswahl der Probanden und Zähne

In die Patientenauswahl kamen Kinder und Jugendliche zwischen dem fünften und zwölften Lebensjahr, deren Erziehungsberechtigte nach ausführlicher Information und Aufklärung ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme an der Studie erteilt hatten (“informed consent“). Die Teilnahme an der Studie basierte auf Freiwilligkeit, auch der Widerruf der Zustimmung war jederzeit möglich. Die Dokumentationsbögen für ICDAS und VistaProof (Kap. 10.1 und 10.2) wurden numerisch codiert, womit schon mit der Befundaufnahme die Anonymisierung der Daten gewährleistet werden konnte.

Es wurden ausschließlich Seitenzähne einbezogen. Patienten ohne entsprechende Compliance kamen für eine Teilnahme an der Studie nicht in Betracht. Patienten mit akuten Beschwerden wurden ebenfalls von der Teilnahme ausgeschlossen.

### 4.3 Klinische Untersuchung

Die Untersuchungen der Studie fanden zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten statt (Abb.6): Baseline (t1), sechs (t2) bzw. zwölf Monate (t3) nach t1. Vor Beginn der Befundung wurden die Zähne mit Elmex® Junior Zahncreme gereinigt. Sofern die Zustimmung der Patienten und der Erziehungsberechtigten vorlag, wurden neben den Bilder mit der Intraoralkamera VistaProof zusätzlich extraorale Übersichtsaufnahmen mit einer handelsüblichen Spiegelreflexkamera (NIKON® D3100) angefertigt. Anschließend erfolgte die visuelle Inspektion mit dem ICDAS nach bereits dargestellter Einteilung (Tab.2; Kap 2.8).

Für die Verlaufskontrolle wurden ausschließlich Zahnflächen mit ICDAS-Codes zwischen 0-2 herangezogen. Pro Zahn wurden, je nach Durchbruch durch die Schleimhaut, die bukkalen und palatinalen/lingualen Flächen sowie die Okklusalfäche zur Befundung mit dem ICDAS ausgewählt. Hier wurde jeweils die mesiale, zentrale und distale Fissur inspiziert.

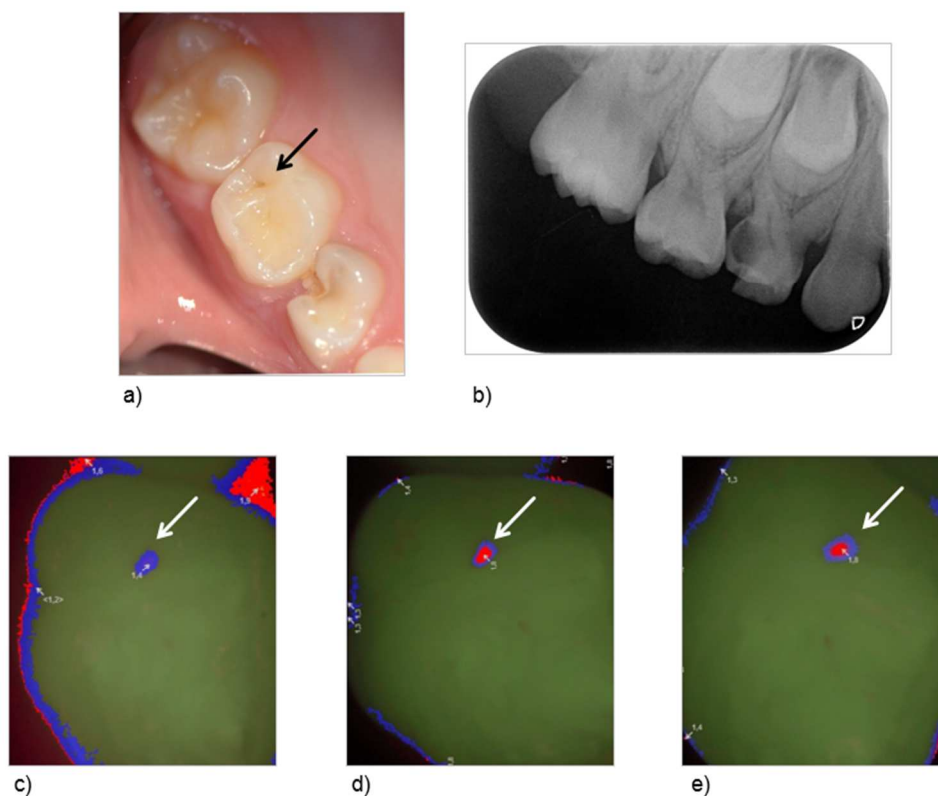


Abbildung 7: Exemplarische Darstellung eines Studienzahnes bei einer 8-jährigen Patientin. Die Pfeile zeigen den Messpunkt: a)+b)Klinische Situation und Zahnfilm Baseline: 55 ICDAS Code 2 okklusale, Zahn 54 ICDAS Code 5 (keinStudienzahn).c)-e) Fluoreszenzaufnahmen zu den Zeitpunkten t1, t2 sowie t3. Die zu Beginn initiale Läsion zeigte klinisch und mittels Fluoreszenzmessung eine Progredienz und wurde versorgt.

Anschließend folgte die Fluoreszenzmessung der Zähne mit der VistaProof-Kamera gemäß Herstellerangaben. Alle Daten wurden über das systembezogene DBSWIN- Programm erfasst und gespeichert und der jeweilige Wert flächenbezogen aufgezeichnet (Abb.7).

Der Handhabung des Fluoreszenzkamerasystems lag stets folgender Ablauf zu Grunde:

1. Reinigung(Elmex® Junior) der zu beurteilenden Zähne und anschließende Trocknung.
2. Dimmen bzw. Abschalten von Fremdlichtquellen wie z.B. der zahnärztlichen OP-Leuchte und Raumbeleuchtung zur Reduktion von störendem Fremdlicht.
3. Positionierung der Kamera mit dem Abstandhalter auf den zu untersuchenden Zahn.
4. Bildaufnahme mit der Handauslösung am Gerät (wahlweise auch alternativ mittels Fußschalter oder über die Software-Schaltfläche möglich).
5. Übertragung des erzeugten Standbildes (Freeze-Modus) an das Imaging-Programm (DBSWIN).
6. Abschließende Speicherung bzw. Bearbeitung des entstandenen Bildes im DBSWIN.

Die Klassifizierung der VistaProof- Werte erfolgte dabei nach zwei unterschiedlichen Kategorien:

- **Kategorie 1** gemäß Herstellerangaben (Tab.4)

*Tabelle 4: Die Klassifizierung der VistaProof- Werte: Kategorie 1 gemäß Herstellerangaben*

VistaProof	Interpretation
0-0,9	gesund
1,0-1,4	beginnende Schmelzkaries
1,5-1,9	tiefe Schmelzkaries
> 1,9	Dentinkaries.

- **Kategorie 2** gemäß Angaben in der Literatur [*Jablonski-Momeni et al. 2014a*](Tab.5):

*Tabelle 5: Die Klassifizierung der VistaProof- Werte: Kategorie 2 gemäß Angaben in der Literatur*

VistaProof	Interpretation
0-1,2	gesund
1,3-1,5	Schmelzkaries
> 1,6	Dentinkaries

Die Therapieentscheidung lag zu jedem Zeitpunkt beim Behandler und wurde unabhängig von den ermittelten Fluoreszenzwerten getroffen. Für die im Verlauf der Studie als aktiv bzw. progredient eingestuften Läsionen (hauptsächlich ICDAS Code 2 und höher) wurde die Indikation zur Versiegelung oder Restauration ausschließlich aufgrund des visuellen Befundes sowie der klinischen Erfahrung und gegebenenfalls anhand von Röntgenbildern gestellt.

#### **4.4 Datenerfassung und statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (15.0) und MedCalc (Version 11.3.4.0). Zur Bestimmung der Untersucher-Reproduzierbarkeit in-vitro wurden der einfache sowie der gewichtete Kappa (für ICDAS) und der Intra-Class Correlation Coefficient (für VistaProof) ermittelt. Zur Verifizierung von Zusammenhängen wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman ( $r_s$ ) berechnet.

Die Befundverteilung (ICDAS, VistaProof) wurde anhand von Kreuztabellen dargestellt und mittels Chi-Quadrat-Test ( $\chi^2$ ) analysiert. Des Weiteren wurden Receiver Operating Characteristic Curves (ROC-Kurve) zur Ermittlung folgender Werte erstellt: Area under the ROC-Curve (AUC) als Maß der diagnostischen Güte, Sensitivität und Spezifität. Als Referenzwert diente hierbei der ICDAS Code. Mit dem Wilcoxon-Test wurde überprüft, ob Veränderungen der Zahnhartsubstanz mit dem VistaProof im Vergleich zum ICDAS gleichermaßen erfasst werden konnten. Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt.

##### **4.4.1 Ermittlung der Reproduzierbarkeit der Verfahren**

Zur Bewertung der Reproduzierbarkeit der Anwendung des ICDAS-II-Verfahrens wurde als Maß der Kappa- Koeffizient nach Cohen errechnet. Er stellt das meist verwendete Maß zur Beurteilung der Übereinstimmungsgüte bei Vorliegen von kategorialen Merkmalen dar [Grouven *et al.* 2007]. Er ermöglicht einerseits die Übereinstimmung zwischen zwei verschiedenen Untersuchern (Interuntersucherreliabilität) als auch andererseits die Konstanz eines Untersuchers (Intrauntersucherreliabilität) zu quantifizieren.

Nach der folgenden Einteilung von Landis und Koch [1977] wurde die Bewertung des



Kappawertes ( $\kappa$ ) folgendermaßen vorgenommen:  $\kappa < 0,00$  (mangelhafte),  $\kappa = 0,00 - 0,20$  (geringe),  $\kappa = 0,21 - 0,40$  (ausreichende),  $\kappa = 0,41 - 0,60$  (moderate),  $\kappa = 0,61 - 0,80$  (substantielle),  $\kappa = 0,81 - 1,00$  (fast perfekte) Übereinstimmung.

Zusätzlich zum einfachen wurde ebenfalls der gewichtete Kappakoeffizient errechnet, mit welchem sich Abweichungen je nach ihrem Schweregrad unterschiedlich gewichtet darstellen lassen, sofern die Bewertungskategorien ordinales Messniveau haben [Cohen 1968].

Für die ICDAS- Untersuchungen liegen sieben ordinale Bewertungskategorien (Kodierung von 0-6) vor. Die Diskordanz zwischen Code 2 und 3 ist dabei als weniger gravierend einzustufen als eine solche zwischen Code 2 und 4 oder sogar zwischen Code 0 und 6 (maximal mögliche Diskordanz). Als Folge der Gewichtung ergibt sich bei überwiegendem Vorliegen geringer gewichteter Abweichungen ein höherer Kappawert als für ungewichtete. Handelt es sich jedoch mehrheitlich um stark zu gewichtende Abweichungen, so resultiert ein niedrigerer Kappawert. Für die Berechnung wurde eine lineare Gewichtung mit dem Programm MedCalc (Version 11.3.4.0) verwendet.

Zur Beurteilung der Interuntersucherreliabilität bezüglich der Fluoreszenzmessungen wurde der Intraclass Correlation Coefficient (ICC) berechnet. Für diesen Korrelationskoeffizient lassen sich Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei negative ICC's einer Reliabilität von 0 entsprechen [Wirtz und Caspar 2002]. Folgende Einteilung nach Cohen [1988] wurde zur Interpretation zugrunde gelegt:  $0 - 0,3 =$  (geringe),  $0,3 - 0,5 =$  (mittlere)  $> 0,5 =$  (hohe) Korrelation.

Zur Minimierung stichprobenbedingter Verzerrungen wurde ein Konfidenzintervall berechnet. Hierbei wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit mit  $\alpha = 5\%$  angenommen womit sich ein Konfidenzniveau von  $1 - \alpha = 95\%$  berechnen lässt.

#### **4.4.2 Korrelationsbestimmung der verwendeten Verfahren**

Mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman ( $r_s$ ) wurde die Korrelation der angewendeten Verfahren berechnet. Zur Beurteilung der Ergebnisse wurde die Kategorisierung nach Ricketts *et al.* [1998] zugrunde gelegt. Hierbei entspricht  $r_s$  von 0 bis 0,3 einer geringen Korrelation,  $r_s$  zwischen 0,3 und 0,7 einer moderaten und  $r_s$  von 0,7 bis 1,0 einer hohen Korrelation. Ein negativer Korrelationskoeffizient entspricht einem gegenläufigen Zusammenhang.

### 4.4.3 Sensitivität und Spezifität

Die Sensitivität beziffert die Fähigkeit eines Verfahrens, eine Erkrankung auch als eine solche zu erkennen [Weiß 2010]. Der Sensitivitätswert in Prozent zeigt hierbei den prozentualen Anteil der korrekt positiven Diagnosen an der Gesamtzahl der Erkrankten [Zöfel 2002]. Die Sensitivität wird wie folgt berechnet:

$$\text{Sensitivität} = \text{Richtig Positiv} / (\text{Richtig Positiv} + \text{Falsch Negativ})$$

Die Spezifität hingegen beschreibt die Fähigkeit eines Tests, Personen ohne die fragliche Erkrankung auch als gesund zu detektieren. Prozentual betrachtet, stellt sie den Anteil der korrekt negativen Diagnosen an der Gesamtzahl der Nichterkrankten dar [Zöfel 2002]. Die Spezifität berechnet sich folgendermaßen:

$$\text{Spezifität} = \text{Richtig Negativ} / (\text{Richtig Negativ} + \text{Falsch Positiv})$$

### 4.4.4 Receiver Operating Characteristic-Curves (ROC-Kurven)

Die ermittelten Daten zur Spezifität und Sensitivität wurden zur Bildung von Receiver Operating Characteristic-Kurven (ROC-Kurven) verwendet. Durch das Auftragen der Sensitivität gegen 1 -Spezifität kann analysiert werden, wie Sensitivität und Spezifität eines diagnostischen Tests zusammenwirken [Zöfel 2002].

Bei einem diagonalen Verlauf (45-Grad-Linie) wäre das Ergebnis eines diagnostischen Wertes ohne jede Aussagekraft. Die steigende Diagnosekraft eines Tests bewirkt eine zunehmende Steigung der ROC-Kurve bauchig in Richtung des linken oberen Diagrammbereichs. (Abb.8)

Dies hat ein Wachstum der Fläche unter der ROC-Kurve (Area Under the Curve, AUC) zur Folge, die das Maß für die Vorhersagekraft darstellt. Es können Werte zwischen 0,5 und 1 angenommen werden, wobei 0,5 eine gänzlich ungenügende diagnostische Güte signalisiert. Ein AUC-Wert von 1 hingegen würde im Idealfall zustande kommen, wenn Spezifität und Sensitivität jeweils bei 1 liegen [Zöfel 2002]. Mittels der ROC-Grafik lässt sich dann der optimale Cut-off-Punkt (Cut-off-Wert, Trennpunkt) ermitteln, d.h. der Punkt, an dem Erkrankte

und Gesunde am besten getrennt werden. Hierfür dient derjenige Punkt auf der Kurve, an dem der Abstand zur Winkelhalbierenden (o.g. 45-Grad-Linie) am größten ist und der gleichzeitig den Wert darstellt, an dem die Summe von Sensitivität und Spezifität ihren Maximalwert erreicht. *Kingman [1990]* gibt an, dass diese Summe mindestens 160 betragen soll, damit ein diagnostisches Verfahren als klinisch relevant bezeichnet werden kann.

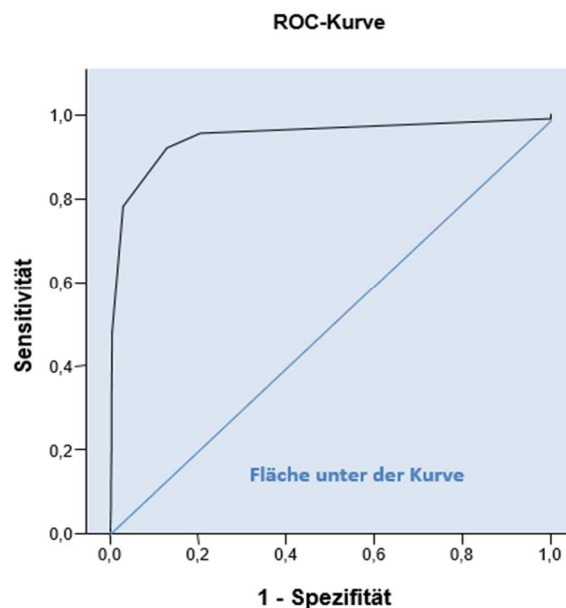


Abbildung 8: exemplarische ROC- Kurve/ Area under the Curve aus Studie

#### 4.4.5 Box-Plot-Diagramm

Ein Boxplot-Diagramm (auch Box-Whisker-Plot oder deutsch Kastengrafik) dient der grafischen Darstellung der Verteilung kardinalskalierten Daten. Dabei können verschiedenrobuste Streuungs- und Lagemaße in einer Darstellung zusammengefasst werden. Ein Boxplot besteht immer aus einem Rechteck, genannt Box, und zwei Linien, die dieses Rechteck verlängern. Diese Linien werden als „Antenne“ oder seltener als „Fühler“ oder „Whisker“ bezeichnet und werden durch einen Strich abgeschlossen. In der Regel repräsentiert der Strich in der Box den Median der Verteilung.

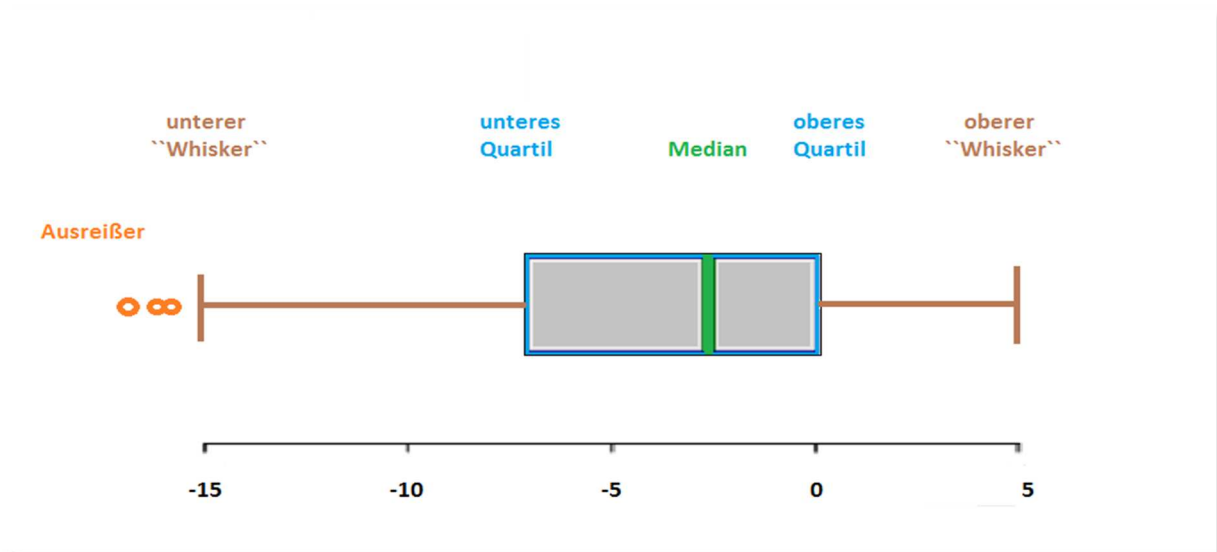


Abbildung 9: Boxplot über einem Zahlenstrahl dargestellt

Diese graphische Darstellungsmethode (Abb.9) soll schnell einen Eindruck über Lage und Verteilung der Daten vermitteln, und wird durch die sogenannte Fünf-Punkte-Zusammenfassung (Median, die zwei Quartile und die beiden Extremwerte) dargestellt.

Die Box repräsentiert den Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen. Sie wird durch das obere und das untere Quartil limitiert, wobei ihre Länge dem Interquartilsabstand (englisch interquartile range, IQR) entspricht.

Der IQR ist ein Maß für die Streuung der Daten, das durch die Differenz des oberen und unteren Quartils bestimmt wird. Der Median wird als durchgehender Strich in der Box eingezeichnet und teilt das Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50 % der Daten liegen. Durch seine Lage innerhalb der Box bekommt man also einen Eindruck von der „Schiefe“ (statistische Kennzahl, die die Art und Stärke der Asymmetrie einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschreibt) der den Daten zugrunde liegenden Verteilung vermittelt. Befindet sich der Median im linken Teil der Box, so ist die Verteilung rechtsschief, und umgekehrt.

Die Antennen (auch „Fühler“; engl. Whisker) stellen die außerhalb der Box liegenden Werte dar. Im Gegensatz zur Definition der Box liegen für die Antennen keine einheitlichen Definitionen vor.

Eine mögliche Definition von *John W. Tukey [1977]* besteht darin, die Länge der Whisker auf maximal das 1,5-Fache des Interquartilsabstands ( $1,5 \times \text{IQR}$ ) zu limitieren. Hierbei endet der Whisker aber nicht genau nach dieser Länge, sondern an dem Wert aus den erfassten Daten,

der noch innerhalb dieser Begrenzung liegt. Die Whisker-Länge wird also durch die Datenwerte und nicht ausschließlich durch den Interquartilsabstand bestimmt. Deshalb müssen die Whisker nicht auf beiden Seiten gleich lang sein. Liegen keine Werte außerhalb der Grenze von  $1,5 \times \text{IQR}$ , wird die Länge des Whiskers durch den maximalen und minimalen Wert bestimmt. Andernfalls werden die Werte außerhalb der Whisker separat in das Diagramm eingetragen. Diese Werte werden häufig als ausreißerverdächtig eingestuft oder direkt als „Ausreißer“ bezeichnet.

Ausreißer, die zwischen  $1,5 \times \text{IQR}$  und  $3 \times \text{IQR}$  liegen, werden häufig als „milde“ Ausreißer bezeichnet wobei Werte, die über  $3 \times \text{IQR}$  liegen, als „extreme“ Ausreißer eingestuft werden müssen. Diese werden dann auch meist unterschiedlich im Diagramm gekennzeichnet.

#### 4.4.6 Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Vor der Durchführung eines Tests muss grundsätzlich die deskriptive Statistik durchgeführt werden. Das heißt, für beide Gruppen werden Mittelwerte, Standardabweichungen, Median sowie Interquartilsabstand berechnet. Durch die Erstellung von Boxplot-Diagrammen lässt sich anhand der Lage und Höhe der Boxen bereits erkennen, ob es in den Daten einen eindeutigen Unterschied gibt.

Der Wilcoxon-Test für abhängige Gruppen ist ein nichtparametrischer Test und dient der Überprüfung, inwieweit sich die zentrale Tendenz von zwei verbundenen Stichproben signifikant unterscheidet [Hirsig 2001]. Für die abhängige Variable muss dabei keine Normalverteilung vorliegen, sie sollte aber mindestens ordinalskaliert sein. Ein Wilcoxon-Test ist auch bei intervallskalierten Merkmalen einzusetzen, wenn die Voraussetzung der Normalverteilung zu stark verletzt wird [Bortz 2005].

Beim Wilcoxon-Test handelt es sich um einen Rangtest. Die Teststatistik wird basierend auf der Bildung einer Rangreihe aus Paardifferenzen berechnet, wobei sich die jeweiligen Paardifferenzen daraus ergeben, dass jedem Wert aus der ersten Messung der entsprechende Wert aus der zweiten Messung zugeordnet werden kann, da es sich um verbundene Stichproben handelt. Dadurch, dass die Messwerte ( $x_{i1}$ ,  $x_{i2}$ ) paarweise verbunden sind, kann man im Gegensatz zu Tests für unabhängige Stichproben sinnvolle Differenzen ( $d_i = x_{i1} - x_{i2}$ ) bilden und diese auswerten. Man betrachtet zwei Aspekte: Die *Richtung* (Vorzeichen) und die *Größe* (Betrag) des jeweiligen Messwerte-Unterschieds. Diese Testmethode wird meistens dann

angewendet, wenn eine Gruppe vor und nach einem Treatment auf Unterschiede hinsichtlich einer Testvariablen untersucht werden soll [Hirsig 2001]. Der Einfluss des Treatments wird dann durch den Vergleich der Mittelwerte erkennbar.

Der Wilcoxon-Test prüft, ob die Differenzen paarweise angeordneter Beobachtungen symmetrisch mit dem Median  $\bar{X}$  gleich Null verteilt sind. Die Nullhypothese  $H_0$  lautet also:

$$H_0: \bar{X}_{\text{Differenz}} = 0.$$

Die Alternativhypothese  $H_1$ , für welche der Median der Differenzen ungleich Null ist, ist somit:

$$H_1: \bar{X}_{\text{Differenz}} \neq 0.$$

Trifft jedoch die Alternativhypothese  $H_1$  zu, ist entweder die Grundgesamtheit nicht symmetrisch in Bezug auf den Median oder den Stichproben liegen ungleiche Verteilungen zugrunde. Hierauf resultierend, lassen sich die Hypothesen auch folgendermaßen formulieren:

Die Nullhypothese:

$$H_0: X = Y$$

(die Verteilungsfunktionen der gepaarten Beobachtungen sind identisch).

Die Alternativhypothese:

$$H_1: X \neq Y$$

(die Verteilungsfunktionen unterscheiden sich in ihrer Lage oder Form.)

Der p-Wert ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Teststatistik bei Gültigkeit der Nullhypothese ( $H_0$ ), mindestens den in der Stichprobe berechneten Wert annimmt. Vor einem statistischen Test wird ein jeweiliges Signifikanzniveau ( $\alpha$ ) festgelegt. Die Nullhypothese ( $H_0$ ) wird dann abgelehnt, wenn der p-Wert kleiner oder gleich  $\alpha$  ist. Ist der p-Wert kleiner 0,05, so gibt es einen signifikanten Unterschied, ist er größer als 0,05, so kann kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Für die Berechnung und statistische Auswertung der Daten, in der hier vorgelegten Studie, wurde das Softwareprogramm MedCalc (Version 11.3.4.0) verwendet. In MedCalc ist z.B. ein ROC- Modul zur Kurvenanalyse (Receiver Operating Characteristic) enthalten, mit dem Sensitivität, Spezifität, Wahrscheinlichkeitsverhältnisse und positive und negative Vorhersage-Werte berechnet und grafisch dargestellt werden können.

## 5 Ergebnisse

Die vor Beginn der Studie ermittelten Ergebnisse zur in-vitro-Reproduzierbarkeit der Verfahren sind in Tabelle 5 dargestellt. Anhand der Ergebnisse lässt sich ableiten, dass bei beiden Verfahren eine hohe Interuntersucherübereinstimmung vorgelegen hat.

Die Untersuchungen der in-vivo-Studie umfassten 36 Probanden (434 Zähne), davon waren 18 männlich und 18 weiblich. Zu Beginn der Studie lag der Altersdurchschnitt bei 9,1 Jahren (6,3-12,0 Jahre). Die einjährige Verlaufskontrolle konnte bei 13 Zähnen auf Grund von Füllungstherapie oder Extraktionen nicht durchgeführt werden. Somit wurden schließlich 421 Zähne in die Auswertung eingeschlossen, welche sich auf 207 Milchmolaren (49,2 %), 139 Molaren (33,0 %) und 75 Prämolaren (17,8 %) verteilten. Entsprechend seines Durchtrittsgrades konnten je Zahn bis zu fünf Flächen gemessen werden ( $n = 1892$ ). Hiervon wurden 383 Flächen bukkal (20,2 %) und 390 (20,6 %) palatinal/lingual vermessen. Soweit möglich wurden auf den Kauflächen drei Messpunkte einbezogen: mesiale und distale Grube ( $n = 372$ ; 19,7 % bzw.  $n = 376$ ; 19,9 %) sowie zentral ( $n = 371$ ; 19,6 %).

Tabelle 5: Intra und Interuntersucher Reproduzierbarkeit der in vitro Untersuchung

Verfahren	Einfacher Kappa * (95% KI**)	Gewichteter Kappa * (95% KI)	Intra-Class Correlation Coefficient *** (95% KI**)
ICDAS Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit	0,87 (0,75-0,99)	0,97 (0,93-1,00)	
ICDAS Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit (vs.Referenzuntersucher)	0,70 (0,53-0,88)	0,92 (0,86-0,99)	
VistaProof Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit			0,97 (0,95-0,99)
VistaProof Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit (vs.Referenzuntersucher)			0,74 (0,55-0,86)
<p>* Einteilung der Kappa-Werte: κ = 0,00-0,20 geringe, κ = 0,21-0,40 ausreichende, κ = 0,41-0,60 moderate, κ = 0,61-0,80 substantielle und κ = 0,81-1,00 fast perfekte Übereinstimmung.</p> <p>** Konfidenzintervall</p> <p>*** Einteilung der Korrelation:0-0,3 geringe, r = 0,3-0,5 mittlere und r &gt; 0,5 hohe Korrelation.</p>			

Tabelle 6 fasst die Spearman's Korrelationskoeffizienten zwischen ICDAS und VistaProof-Befunden zusammen. Alle Korrelationen waren signifikant positiv ( $p < 0,01$ ; zweiseitig). Tabelle 7 und 8 zeigen die Verteilung der ICDAS-Werte und der entsprechenden VistaProof-Messungen. Bei allen Befunden ließ sich ein signifikanter Zusammenhang ( $\chi^2 < 0,001$ ) feststellen. Die Auswertung der Kreuztabellen zeigt, dass bei Studienbeginn 90 % der untersuchten Zahnflächen visuell keine Anzeichen einer Karies aufwiesen (ICDAS-Code 0;  $n = 1700$ ), wohingegen bei 10 % eine initiale Veränderung erfasst werden konnte (ICDAS-Codes 1 und 2). Dieser prozentuale Anteil stieg auf 11,3 % nach sechs Monaten (t2) und 14,7 % nach zwölf Monaten (t3).

Die Fluoreszenzmessungen mit Vista-Proof zeigten demnach zu jedem Messzeitpunkt eine signifikant positive Korrelation zum visuellen Verfahren ICDAS.

Hypothese 1 wurde somit angenommen.

*Tabelle 6: Spearman's Korrelationskoeffizient ( $r_s$ ) zwischen ICDAS- und VistaProof-Befunden zu allen drei Untersuchungszeitpunkten*

	Spearman's Korrelationskoeffizienten ( $r_s$ )		
ICDAS-VistaProof	Erste Untersuchung (t1)	Zweite Untersuchung (t2)	Dritte Untersuchung (t3)
alle Messungen	0,65	0,63	0,66
Milchzähne	0,60	0,57	0,54
Bleibende Zähne	0,66	0,60	0,62

Abbildung 10 stellt die Verteilung der ICDAS und VistaProof-Messungen mittels Box-Plots getrennt für Milchzähne und bleibende Zähne dar.



Abbildung 10.: Box-Plots der Verteilung aller Messungen a-c) Milchzähne d-f) bleibende Zähne

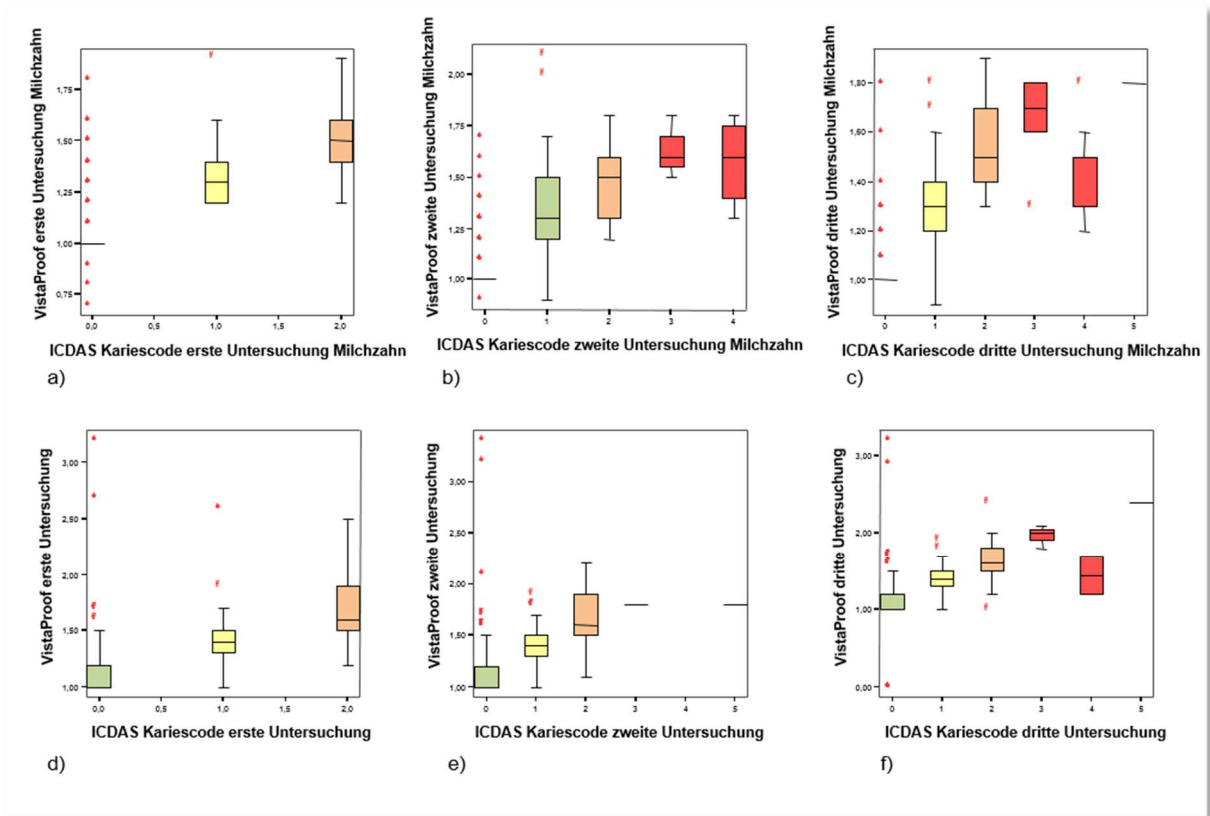


Tabelle 7: Kreuztabellierung der Ergebnisse für ICDAS und VistaProof-Messungen (Kategorien gemäß Firmenangaben) zu allen Untersuchungszeitpunkten. Farbige unterlegte Felder zeigen die Übereinstimmungen zwischen den visuellen Befunden und Fluoreszenzmessungen

	Erste Untersuchung (t1)				Zweite Untersuchung (t2)					Dritte Untersuchung (t3)				
VistaProof Einteilung	ICDAS Code			N Gesamt	ICDAS Code				N Gesamt	ICDAS Code				N Gesamt
	0	1	2		0	1	2	>2		0	1	2	>2	
0,0-0,9 (gesund)	3	0	0	3	1	1	0	0	2	5	1	0	0	6
1-1,4(beginnende Schmelzkaries)	1677	99	12	1788	1650	91	10	1	1752	1609	110	11	11	1741
1,5-1,9(tiefe Schmelzkaries)	18	40	34	92	25	56	35	8	124	33	57	37	11	138
> 1,9 (Dentinkaries)	2	1	6	9	3	2	9	0	14	2	0	2	3	7
N Gesamt	1700	140	52	1892	1679	150	54	9	1892	1649	168	50	25	1892

*Tabelle 8 : Kreuztabellierung der Ergebnisse für ICDAS und VistaProof Messungen (Kategorien gemäß Angaben in der Literatur) zu allen Untersuchungszeitpunkten. Farblich unterlegte Felder zeigen die Übereinstimmungen zwischen den visuellen Befunden und Fluoreszenzmessungen*

	Erste Untersuchung (t1)				Zweite Untersuchung (t2)					Dritte Untersuchung (t3)				
VistaProof Einteilung	ICDAS Code			N Gesamt	ICDAS Code				N Gesamt	ICDAS Code				N Gesamt
	0	1	2		0	1	2	> 2		0	1	2	> 2	
0,0-1,2 (gesund)	1564	29	2	1595	1524	36	2	0	1562	1516	43	2	2	1563
1,3-1,5 (Schmelzkaries)	126	89	18	233	139	88	20	3	250	116	103	15	10	244
> 1,6 (Dentinkaries)	10	22	32	64	16	26	32	6	80	17	22	33	13	85
N Gesamt	1700	140	52	1892	1679	150	54	9	1892	1649	168	50	25	1892

*Tabelle 9: Kreuztabellierung der Ergebnisse für ICDAS und VistaProof Messungen (Kategorien gemäß Firmenangaben) für die zum Zeitpunkt t2 bzw. t3 veränderten Befunde. Farblich unterlegte Felder zeigen die Übereinstimmungen zwischen den visuellen Befunden und Fluoreszenzmessungen*

	Zweite Untersuchung (t2)					Dritte Untersuchung (t3)				
VistaProof Einteilung	ICDAS Code				N Gesamt	ICDAS Code				N Gesamt
	0	1	2	> 2		0	1	2	> 2	
0,0-0,9 (gesund)	1	1	0	0	2	0	1	0	0	1
1-1,4 (beginnende Schmelzkaries)	41	26	3	1	71	0	48	5	11	64
1,5-1,9 (tiefe Schmelzkaries)	2	25	12	8	47	0	22	19	11	52
> 1,9 (Dentinkaries)	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
N Gesamt	44	52	15	9	120	0	71	24	25	120

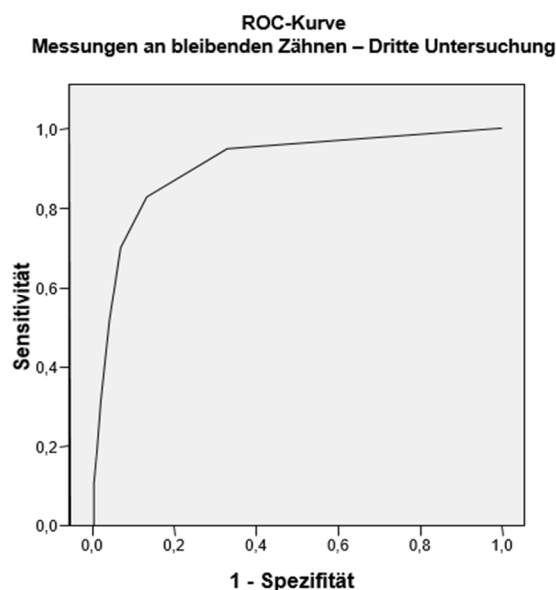
Tabelle 9 und 10 zeigen die Verteilungen der ICDAS-Werte und der entsprechenden VistaProof-Messungen für die veränderten Befunde zu den Zeitpunkten t2 und t3. Hier kann ebenfalls für alle Befunde ein signifikanter Zusammenhang ( $\chi^2 < 0,001$ ) abgelesen werden. Im Zeitraum von zwölf Monaten konnte bei 120 Zahnflächen (bei 94 Zähnen) eine Progression des ICDAS-Codes festgestellt werden. Diese verteilte sich auf 47 Flächen (39 %) an Milchmolaren sowie 73 Flächen (61 %) an bleibenden Seitenzähnen.

*Tabelle 10: Kreuztabellierung der Ergebnisse für ICDAS und VistaProof Messungen (Kategorien gemäß Angaben in der Literatur) für die zum Zeitpunkt t2 bzw. t3 veränderten Befunde. Farblich unterlegte Felder zeigen die Übereinstimmungen zwischen den visuellen Befunden und Fluoreszenzmessungen.*

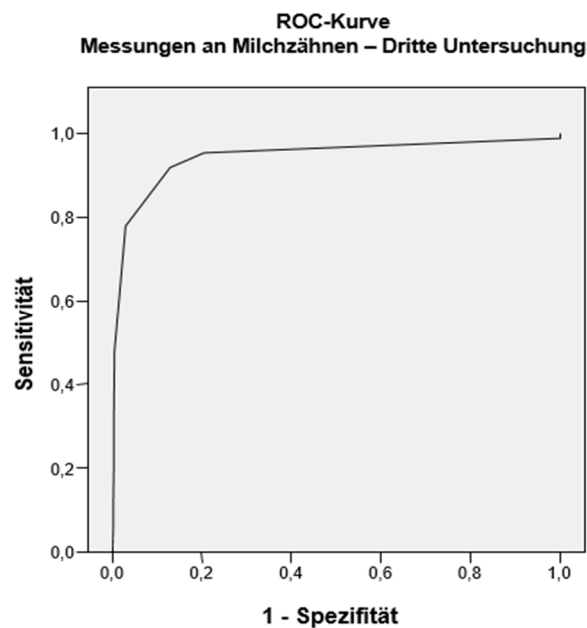
	Zweite Untersuchung (t2)					Dritte Untersuchung (t3)				
VistaProof Einteilung	ICDAS Code				N Gesamt	ICDAS Code				N Gesamt
	0	1	2	> 2		0	1	2	> 2	
0,0-1,2 (gesund)	34	8	0	0	42	0	19	0	2	21
1,3-1,5 (Schmelzkaries)	9	34	6	3	52	0	44	8	10	62
> 1,6 (Dentinkaries)	1	10	9	6	26	0	8	16	13	37
N Gesamt	44	52	15	9	120	0	71	24	25	120

Im Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben ließen sich für die ICDAS-Befunde signifikante Unterschiede zwischen t1/t2 ( $p = 0,011$ ) sowie t2/t3 ( $p < 0,001$ ) ablesen. Hinsichtlich der Fluoreszenzmessungen ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen t1/t2 ( $p < 0,001$ ), wobei die Messreihen zwischen t2/t3 keinen signifikanten Unterschied aufwiesen ( $p = 0,700$ ). Diese Messergebnisse ließen sich durch die in Kategorien eingeteilten VistaProof-Werte (nach Herstellerangaben sowie nach Angaben in der Literatur) bestätigen.

Somit konnte Hypothese 2 nur bedingt angenommen werden, da VistaProof und ICDAS kariöse Veränderungen der Zahnhartsubstanz nur zu bestimmten Zeitpunkten gleichermaßen erfassen konnten.



*Abbildung 11: Exemplarische Darstellung von ROC-Kurven zum dritten Untersuchungszeitpunkt für bleibende Zähne*



*Abbildung 12: Exemplarische Darstellung von ROC-Kurven zum dritten Untersuchungszeitpunkt für Milchzähne*

Abbildung 11 und 12 zeigen exemplarisch ROC- Kurven für Milchzähne und bleibende Zähne, wobei deutlich wird, dass je nach Trennpunkt die Werte für Sensitivität und Spezifität des VistaProof deutlich variieren. Die Sensitivität zur Erfassung von Läsionen fällt dabei für Milchzähne etwas geringer aus als für bleibende Zähne.

Die Übereinstimmung zwischen ICDAS- und VistaProof-Befunden lag je nach Trennpunkt zwischen 33 % (t2/3, Trennpunkt nach Herstellerangaben) und 66,7 % (Trennpunkt nach Literaturangaben). An 60 Flächen bei 43 Zähnen konnte eine Remission (10 Flächen an Milchzähnen, 50 Flächen an bleibenden Molaren und Prämolaren) festgestellt werden.

Tabelle 11 fasst die Daten zur diagnostischen Güte des VistaProof gemessen am Referenzwert ICDAS zu allen drei Zeitpunkten bei verschiedenen Trennpunkten zusammen.

*Tabelle 11: Diagnostische Güte, Sensitivität und Spezifität des VistaProof gemessen am Referenzwert ICDAS zu allen drei Zeitpunkten bei verschiedenen Trennpunkten*

	Erste Untersuchung (t1)			Zweite Untersuchung (t2)			Dritte Untersuchung (t3)		
<b>VistaProof Trennpunkt 0,9/1,00 *</b>	<b>AUC (95% KI)</b>	<b>SE (%)</b>	<b>SP (%)</b>	<b>AUC (95% KI)</b>	<b>SE (%)</b>	<b>SP (%)</b>	<b>AUC (95% KI)</b>	<b>SE (%)</b>	<b>SP (%)</b>
<b>Alle Zähne</b>	0,95 (0,94-0,96)	100	0,2	0,94 (0,93-0,96)	99,5	0,1	0,93 (0,90-0,95)	99,6	0,3
<b>Milchzähne</b>	0,96 (0,95-0,98)	100	0,4	0,95 (0,91-0,98)	98,5	0,1	0,95 (0,91-0,98)	98,9	0,0
<b>Bleibende Zähne</b>	0,94 (0,92-0,96)	100	0,0	0,93 (0,91-0,95)	100	0,0	0,91 (0,88-0,93)	100	0,6
<b>VistaProof Trennpunkt 1,2/1,3 **</b>	<b>AUC (95% KI)</b>	<b>SE (%)</b>	<b>SP (%)</b>	<b>AUC (95% KI)</b>	<b>SE (%)</b>	<b>SP (%)</b>	<b>AUC (95% KI)</b>	<b>SE (%)</b>	<b>SP (%)</b>
<b>Alle Zähne</b>	0,95 (0,94-0,96)	83,4	92,0	0,94 (0,93-0,96)	82,2	90,8	0,93 (0,90-0,95)	81,1	91,9
<b>Milchzähne</b>	0,96 (0,95-0,98)	74,5	95,3	0,95 (0,91-0,98)	79,4	95,7	0,95 (0,91-0,98)	77,9	97,1
<b>Bleibende Zähne</b>	0,94 (0,92-0,96)	87,0	88,8	0,93 (0,91-0,95)	83,4	86,0	0,91 (0,88-0,93)	82,8	86,8

AUC: Area under the ROC-Curve; KI: Konfidenzintervall; SE: Sensitivität; SP: Spezifität

\* Trennpunkt gesund/Schmelzkaries gemäß Firmenangaben

\*\* Trennpunkt gesund/Schmelzkaries gemäß Literatur [Jablonski-Momeni, Liebegall 2013]

Einteilung der AUC als Maß für diagnostische Güte [Tape TG: Interpreting Diagnostic Tests. University of Nebraska Medical Center]: 0,60-0,70 = gering, 0,70-0,80 = ausreichend, 0,80-0,90 = gut und 0,90-1,00 = exzellent.

## 6 Diskussion

### 6.1 Diskussion der Problemstellung

Wie bereits dargelegt, lässt sich in Deutschland und weiten Teilen Westeuropas seit Jahren ein deutlicher Kariesrückgang beobachten [Glass 1982, Marthaler 2004, Pieper 2010].

Das Streben der heutigen Zahnheilkunde mittels moderner zahnärztlicher Diagnose- und Therapiekonzepte diesen positiven Trend zu unterstützen und zu verstärken, stellt besonders die Betrachtung der Okklusalkaries in den Mittelpunkt. Typischerweise sind die am frühesten befallenen Flächen der bleibenden Dentition die Okklusalflächen der ersten und zweiten Molaren [Hannigan et al. 2000]. Die Mundhygiene ist an diesen Flächen zwar grundsätzlich gut durchführbar, jedoch kann die individuelle Morphologie der Okklusalfäche und des Fissurenreliefs eine adäquate Plaqueentfernung erschweren und die Bildung stationärer Mikrobiotope ermöglichen [Lussi et al. 1995, Laurisch 2007].

Das klinische Erscheinungsbild okklusaler Läsionen muss in der heutigen zahnärztlichen Untersuchung jedoch immer häufiger kritisch hinterfragt werden. So ist die Diagnose einer „hidden caries“ durch die visuelle Inspektion häufig nur schwer zu stellen, da diese Form der Dentinkaries meist von einer gesunden Schmelzoberfläche bedeckt ist [Weerheijm et al. 1997]. Aus diesem Grund können heute eine Vielzahl technischer Methoden, deren Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten deutlich vorangeschritten ist, die visuelle Befundung adäquat unterstützen, um eine frühzeitige und akkurate Diagnose zu ermöglichen. Die Röntgendiagnostik gehört nach wie vor zu den Standardverfahren im zahnärztlichen Alltag. Jedoch weist dieses Verfahren in manchen Bereichen diagnostische Schwächen auf. So lassen sich initiale okklusale Läsionen und deren Eindringtiefe in die Schmelzschicht häufig nur schwer befunden [Lussi 1996]. Die Abgrenzung der Dentinkaries gegen eine schmelzbegrenzte Läsion ist jedoch für den Zahnarzt von entscheidender Bedeutung für eine adäquate Behandlung. So können heute nicht kavitierte Läsionen durch verbesserte Mundhygiene und gezielte Remineralisationsmaßnahmen häufig noch in einen arretierten Zustand überführt werden, wohingegen eine tiefe Dentinbeteiligung die invasive Intervention notwendig macht. [Pitts et al. 2014]. Der richtige Behandlungszeitpunkt spielt hierbei insbesondere im Milchgebiss eine entscheidende Rolle, der nur durch eine adäquate Verlaufskontrolle, wie in der vorliegenden Studie, ermittelt werden kann.

Außerdem ist seit der Novellierung der Röntgenverordnung im Jahr 2002 (§ 23 RöV) die „rechtfertigende Indikation“ für die Verwendung von Röntgenstrahlen zu Diagnosezwecken

zwingend erforderlich. Es liegt also in der Verantwortung des Zahnarztes, die Verwendung non-invasiver Techniken mit geringer oder ohne Strahlenbelastung für den Patienten abzuwägen, insbesondere wenn diese eine gleichwertige oder sogar bessere diagnostische Qualität bieten können.

*Ricketts et al. [2002]* als auch *Souza-Zaroni et al. [2006]* empfehlen für eine sorgfältige Erfassung der okklusalen Karies immer eine Kombination mehrerer Methoden. Von *Rodrigues et al. [2008]* wurde das visuelle Diagnoseverfahren ICDAS-II in Kombination mit Bissflügelaufnahmen als beste diagnostische Kombination für die Diagnose der okklusalen Karies empfohlen.

Ergebnisse aus Studien von *Heinrich-Weltzien et al. [2002]* empfehlen die Indikation für Bissflügelaufnahmen erst nach visueller Inspektion und Laserfluoreszenzmessung zu stellen, um die Strahlenbelastung möglichst niedrig zu halten. Eine in den letzten Jahren durchgeführte Studie konnte belegen, dass eine kombinierte Diagnostik von ICDAS-II mit einem Laserfluoreszenzverfahren optimale Ergebnisse bei der Detektion der okklusalen Karies auf Dentinniveau erreicht [*Schipper et al. 2009*].

Heute stehen dem Behandler verschiedene Arten von non- invasiven diagnostischen Hilfsmitteln zur Verfügung. Zu nennen sind hier die faseroptische Transillumination (FOTI), sowie die elektrische Impedanzmessung mit dem CarieScan Pro (Orange Dental, Biberach, Germany).

Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF) ist beispielsweise eine Diagnostikmethode, die auf der unterschiedlichen Fluoreszenz und Lichtstreuung von gesunder und erkrankter Zahnhartsubstanz beruht. Die kariöse Zerstörung geht mit einem Fluoreszenzverlust einher, der mit dem Mineralverlust der kariösen Läsion korreliert. Die quantitative Analyse und Speicherung der digitalen Messaufnahmen wird über eine systemspezifische Software ermöglicht [*Pretty und Maupome 2004*].

Das seit 2007 kommerziell erhältliche Fluoreszenzkamerasystem VistaProof (Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen, Germany) bietet als intraorale Kamera mit systembezogener Software die Speicherung und Darstellung der erhobenen Daten zu Monitoringzwecken. Die Anschaffung der notwendigen Hard- und Software und die damit verbundenen betriebswirtschaftlichen Kosten stellen in der Praxis allerdings einen Nachteil dar, weil dem Einsatz einer intraoralen Kamera zu Diagnosezwecken keine kassenzahnärztliche Vergütung zu Grunde liegt. Des Weiteren ist die Anwendung der VistaProof zur Detektion der Approximalkaries nicht möglich. Hierfür bietet DürrDental für den VistaProof-Nachfolger VistaCam iX seit 2014 den sog „Proxi-Wechselkopf“ an. Dieser nutzt die Infrarottechnologie,

um approximale Läsionen zu erkennen. Mit seinen zwei Infrarot-LEDs und dem optischen Empfänger wird das Instrument oberhalb der Okklusalfächen der Zähne positioniert und der Approximalraum beleuchtet. Die Kamera fungiert dabei als respektive Linse, die das Bild von oben nach unten projiziert.

Dabei erscheint der Zahnschmelz wegen seiner hohen Transluzenz dunkel, approximale Läsionen zeigen hingegen aufgrund der geringen Lichtdurchlässigkeit ein helles, opakes Erscheinungsbild, woraus ein Schwarz-Weiß-Bild resultiert.

Ähnlich wie bei der Röntgenaufnahme kann über den Aktivitätsgrad der Läsion keine Aussage getroffen werden. Die Entscheidung über den weiteren Therapieverlauf bleibt in der Verantwortung des Zahnarztes.

## 6.2 Visuelle Detektion

Noch immer stellt die visuelle Inspektion der Zähne das meistverwendete Verfahren zur Untersuchung der Dentition auf kariöse Läsionen dar. Vorteilhaft ist dabei die wenig aufwändige und schnelle Durchführbarkeit mit einfachen Hilfsmitteln. Eine Studie von *Sheehy et al. [2001]* schlussfolgert, dass die visuelle Untersuchung in epidemiologischen Studien gegenüber Laserfluoreszenzdiagnostik zu favorisieren sei. Allerdings ist zu beachten, dass sich Reihenuntersuchungen häufig des WHO-Standards bedienen, dem das Kavitationsniveau der Karies als Maßstab zu Grunde gelegt wird. Die Behandlungsbedürftigkeit der Läsion (D3-Niveau) richtet sich definitionsgemäß nach sichtbar freiliegendem Dentin oder nach unterminiertem Schmelz mit tastbar erweichten Schmelzrändern [*WHO 1997*].

Wie bereits erläutert, zeichnet sich in den letzten Jahren aber ein rückläufiger Trend der kavitierten Läsionen ab, was die Verwendung neuer Indizes sinnvoll erscheinen lässt, die eine genauere Unterteilung auch initial kariöser Läsionen sowie eine genauere Einschätzung der Läsionsprogredienz ermöglichen. Dies wäre die Grundlage für rechtzeitige und qualifizierte Therapieentscheidungen seitens des Behandlers.

Das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) ermöglicht eine differenzierte Kategorisierung zwischen Initial- und fortgeschrittener Karies sowie die Beurteilung der Aktivität einer Läsion. Dieses, in internationaler Zusammenarbeit entwickelte visuelle Diagnosesystem, ist in die Codes 0 bis 6 unterteilt. Hierbei wird durch die Codes 1 und 2 eine Schmelzkaries und die Codes 3 bis 6 eine Dentinkaries beschrieben [*ICDAS*



*Coordinating Committee 2005*]. Das Verfahren ICDAS wurde bereits in mehreren Studien als valide zur Diagnose okklusaler Karies beschrieben [*Jablonski-Momeni et al. 2008a/b*].

Seit 2014 liegt von Seiten der ICDAS- Foundation ein Leitfaden zum Karies-Management vor. [*Pitts et al. 2014*]. Das Ziel dieses Leitfadens ist es, eine strukturierte und erleichterte Umsetzung des „International Caries Classification and Management System (ICCMS™)“ zu ermöglichen. Die Autoren geben dabei sowohl eine detaillierte Anleitung für die Anwendung im klinischen Alltag als auch für die Lehre in zahnmedizinischen Einrichtungen weltweit.

ICCMS™ versteht sich dabei als gesundheitsorientiertes Kontroll-System mit dem Focus auf den Erhalt der vorhandenen Zahnstrukturen. Dabei steht die Klassifizierung und Aktivitätskontrolle der Karies der der individuellen Kariesrisiko entsprechenden präventiven Versorgung gegenüber. Das Konzept ermöglicht die Kontrolle initialer, noch nicht eingebrochener Läsionen sowie die konservierende Restauration bereits vorangeschrittener Defekte [*Pitts et al. 2014*].

Vier Elemente stehen bei ICCMS™ im Vordergrund (Abb.14):

- **Klassifizierung** (Karieslevel und Aktivitäts-Bewertung):

Dies umfasst die Einteilung des Schweregrads der Läsion (initial/moderat/fortgeschritten) sowie die Bewertung der Karies-Aktivität und deren Progressions-, Stagnations-, oder Regenerationswahrscheinlichkeit („aktiv“/„inaktiv“). Während der intraoralen Befundungsphase spielen zudem individuelle Risikofaktoren wie z.B. Mundhygiene, Mundtrockenheit oder Überempfindlichkeit eine wichtige Rolle.

- **Management** (Personalisierte Kariesprävention, Kontrolle und Zahnerhaltung, Operative Versorgung):

In Zusammenarbeit mit dem Patienten erarbeitet das zahnärztliche Team einen personalisierten Behandlungsplan zum Management des Kariesrisikos sowie der angemessenen Behandlung bereits bestehender Läsionen. Die Einschätzung des individuellen Risikos basiert dabei zum einen auf der entsprechenden häuslichen Mundhygieneinstruktion, zum anderen auf der Individualprophylaxe in der Praxis. Patienten mit niedrigem Risiko erhalten dabei allgemeine Informationen und Anleitungen zur Erhaltung der Mundgesundheit. Bei Patienten mit moderatem und hohem Risiko wird der Schwerpunkt auf Hinweise zur Verhaltensänderung gelegt und die Recall-Intervalle verkürzt. Das Kariesmanagement steht dabei in Bezug zur entsprechenden Diagnose der jeweiligen Läsion: „initiale“ und aktive Läsionen sind im Allgemeinen mit nicht-operativen Maßnahmen („non-operative care“, NOC) zu

behandeln, wohingegen moderate und fortgeschrittene Läsionen invasiv- konservierend behandelt werden müssen („tooth preserving operative care“, TPOC).

- **Anamnese** (individuelle Kariesrisikobewertung auf Patientenebene):

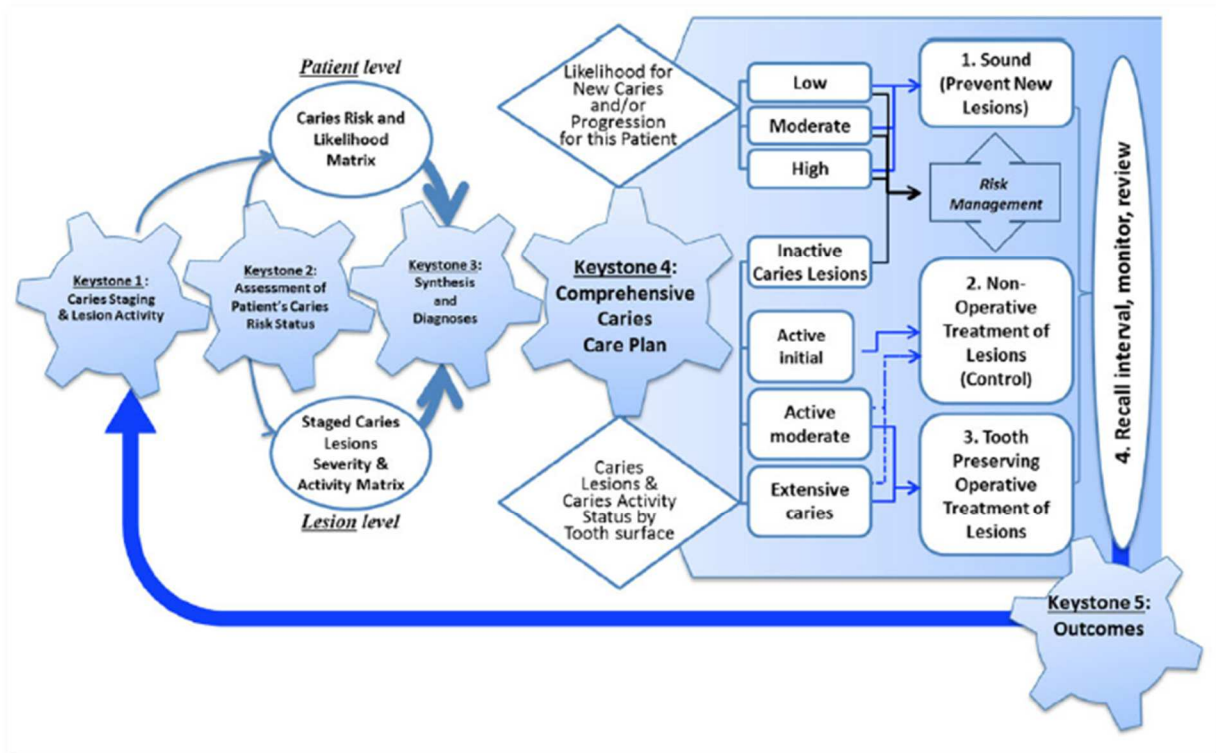


Abbildung 14: Grundpfeiler des "International Caries Classification and Management System (ICCMS™)" [Ismail et al. 2015]

Die Individuelle Risikobewertung auf Patientenebene (Informationssammlung bezogen auf den vorliegenden Zahnstatus und die klinische Anamnese des Patienten).

- **Entscheidungsfindung** (Verknüpfung der Informationen und Diagnosen):

Die Klassifizierung der einzelnen Läsionen aus den Informationen über deren Ausprägung und Aktivität (z. B. „initial“ aktive Läsion), sowie eine allgemeine Einschätzung zur Progressionswahrscheinlichkeit zusammengeführt aus den Informationen über bereits vorhandene oder fehlende Läsionen („aktiv"/„inaktiv"). Bezogen auf das individuelle Kariesrisiko des Patienten („niedrige", „mittlere" oder „hohe" Gefahr zukünftiger Kariesentwicklung und/oder Läsionsprogression).

Aus diesen Ergebnissen resultieren dann entsprechend risikobasierte Recall-Intervalle mit dem Ziel einen Behandlungszyklus zu etablieren, der aus den vorliegenden Informationen aus Monitoring und Diagnostik einen Entscheidungsfindungspfad zur adäquaten Kariesbehandlung liefert. Dies bildet die Grundlage zur optimalen und langfristigen Erhaltung der Gesundheit des Patienten.

Die allgemeine Verwendung des ICCMS™-Systems hat somit umfassende Auswirkungen auf die Gesunderhaltung, Krankheitsbekämpfung und patientenorientierte Qualitätsstandards im klinischen Behandlungsablauf [Ismail et al. 2015].

### 6.3 Fluoreszenzmessung mit der Intraoralkamera VistaProof



Abbildung 15: Fluoreszenzkamera VistaProof (Dür Dental)

Die Dür Dental AG (Bietigheim-Bissingen) bietet seit 2007 das intraorale Kamerasystem VistaProof auf dem Dentalmarkt an. Durch die Verwendung von blau-violetttem Licht zur Anregung photoaktiver kariogener Mikroorganismen kann nach Messung der erzeugten Fluoreszenz eine Kariesdiagnose an Okklusalfächen getroffen werden (Abb 15).

Die Anwendung des VistaProof-Kamerasytems steht in den letzten Jahren im Mittelpunkt

zahlreicher Studien. *De Benedetto et al. [2011]* verglichen die Fluoreszenzkamera VistaProof mit den Laserfluoreszenzgeräten DIAGNOdent und DIAGNOdent pen (KaVo). Die Studie konnte für die Untersuchung der Okklusalfächen von 129 Milchzähnen eine moderate bis hohe Reproduzierbarkeit ermitteln. Die Ergebnisse zeigten dabei für das VistaProof-System für die Intra-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen Intra-Class-Correlation Coefficient (ICC) von 0,85 und für die Inter-Untersucher-Reproduzierbarkeit einen Wert von 0,81. Dabei lag zwischen VistaProof und den Laserfluoreszenzmethoden jeweils eine signifikante Korrelation vor. Des Weiteren konnte eine signifikante Steigerung der Fluoreszenzwerte nach einer Lufttrocknung für 15 s gegenüber nur 3 s bzw. ohne Trocknung festgestellt werden [*De Benedetto et al. 2011*].

Der Hersteller gibt, wie bereits beschrieben, normierte Schwellenwerte für das Kamerasystem an (s.h. Kap 4.3). Eine derartige Definition von Schwellenwerten seitens des Herstellers muss folgendermaßen betrachtet werden: ein niedriger Schwellenwert deklariert relativ viele Zähne als krank, wobei es aber auch zur falsch positiven Bewertung gesunder Zähne kommen kann. Umgekehrt werden bei einem hohen Schwellenwert viele Messpunkte als gesund bewertet, was zur Folge hat, dass auch kariöse Zähne unzutreffend als gesund klassifiziert werden können. Hierbei muss kritisch bemerkt werden, dass die Wahl eines zu niedrigen Schwellenwertes in der klinischen Anwendung zu falsch positiven Diagnosen führen würde und somit zur irrtümlichen invasiven Intervention an gesunden Zähnen.

Durch die Anwendung eines relativ hohen Schwellenwertes kann dieses Risiko jedoch gesenkt werden, was sich insbesondere in Populationen mit geringem Kariesrisiko empfiehlt [*Fung et al. 2004*]. Dadurch minimiert sich das Risiko durch Fissurenverfärbungen eine falsch positive Diagnose zu erhalten.

In der Entwicklungsphase des Kamerasystems führten *Rodrigues et al. [2008]* eine Studie an 119 bleibenden Molaren durch. Anhand der ermittelten Ergebnisse konnte eine Anpassung der Schwellenwerte mit folgender Einteilung vorgenommen werden (Tab.12):

Tabelle 12: Schwellenwerte für VistaProof Prototyp, Rodrigues et al. [2008]

VistaProof	Interpretation
0-1,262	gesunde Zahnoberfläche (D0)
1,263-1,299	Schmelzkaries in der äußeren Schmelzhälfte (D1)
1,300-1,319	Karies bis in die innere Schmelzhälfte (D2)
>1,319	manifeste Dentinkaries (D3, D4).

Eine derartige Einteilung muss allerdings kritisch betrachtet werden, da eine so gestaltete Kategorisierung von Schwellenwerten mit drei Nachkommastellen und derart geringem Messwertabstand die klinische Anwendung unpraktikabel macht. Außerdem gibt die Auswertungssoftware der VistaProof-Kamera, auf den Abbildungen nur eine Nachkommastelle bei der numerischen Auswertung an, wodurch die Kategorisierung nicht ohne weiteres übernommen werden kann [Rodrigues et al. 2008].

Jedoch stellen die in dieser Studie ermittelten Sensitivitäts- und Spezifitätswerte die Basis für die spätere Berechnung neuer Schwellenwerte für das D1-Niveau (Schmelz- und Dentinkaries) sowie das D3-Niveau (Dentinkaries) dar.

Bei späteren Auswertungen der Spezifität und Sensitivität zeigte sich, dass die vom Hersteller genannten Schwellenwerte für Schmelz- und Dentinkaries nicht an den Punkten der optimalen Differenzierung zwischen „gesund“ und „erkrankt“ lagen. Um eine möglichst präzise Unterscheidung zu gewährleisten, mussten neue Schwellenwerte an den Punkten mit der höchsten Summe aus Sensitivität und Spezifität definiert werden. Dieses Verfahren hatte sich bereits bei der Diagnose von Laserfluoreszenzgeräten bewährt [Lussi und Hellwig 2006].

Eine spätere Studie von Rodrigues et al. [2011] verwendete andere Schwellenwerte, in welcher die Kategorien 0-1,2 (gesund), 1,2-1,4 (Schmelzkaries) und >1,4 (Dentinkaries) festgelegt wurden, was sich wiederum in leicht erhöhten Werten bei Sensitivität und Spezifität widerspiegelt. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass eine weitere Verbesserung der Cut-off-Werte notwendig sei.

In der hier vorgelegten Studie wurden die Ergebnisse der Fluoreszenzmessungen mit der Digitalkamera VistaProof nach zwei unterschiedlichen Kategorien klassifiziert. Zum einen, wie oben beschrieben, gemäß Herstellerangaben und zum anderen nach Angaben aus der Literatur. Basierend auf einer Studie von Jablonski-Momeni et al. [2014a] wurde die Einteilung der Schwellenwerte wie folgt festgelegt: 0-1,2 = 0 (gesund), 1,3-1,5 = 1 (Schmelzkaries), ab 1,6 = 2 (Dentinkaries).

Wie die Ergebnisse belegen, variierte die Spezifität je nach Einteilung der Schwellenwerte von 0-97,1 %. Hierbei konnte unter den von *Jablonski-Momeni et al. [2014a]* festgelegten Cut-off-Werten eine deutlich höhere Spezifität erreicht werden (SP 97,1% im Vergleich zu 0%).

Es bleibt anzumerken, dass Schwellenwerte immer nur als Orientierungshilfe dienen, die nicht als alleiniges Kriterium zur Abwägung von invasiven Therapiemaßnahmen verwendet werden dürfen. Der Patient mit seinem allgemeinen Gesundheitszustand, seinen Ernährungsgewohnheiten sowie die vorliegende Kariesaktivität und Fluoridanamnese müssen immer mit in die Therapieplanung einbezogen werden.

Die Firma Dürr Dental AG (Bietigheim-Bissingen) stellte im Jahr 2011 die Fluoreszenzkamera VistaCam iX mit Proof-Aufsatzkopf als Nachfolgemodell vor. Basierend auf gleichen technischen Grundlagen wie die Fluoreszenzkamera VistaProof, können folgende technische Veränderungen dargestellt werden:

Im Gegensatz zur VistaProof sind hier vier Galliumnitrid-LEDs installiert und es wird eine Auflösung von 704 x 576 Pixeln (YUV) erreicht. Die Handhabung und Anwendung ähnelt dem Vorgänger, lediglich die Art des Auslöseschalters wurde modifiziert. Es werden nunmehr verschiedene Aufsätze angeboten, die es ermöglichen den VistaCam iX-Grundkorpus auch als herkömmliche Intraoralkamera, als Makrokamera und als Polymerisationslampe zu verwenden. Seit 2014 bietet DürrDental zusätzlich den sog „Proxi-Wechselkopf“ an, der mittels Infrarottechnologie die Detektion approximaler Läsionen ermöglichen soll (s.h. Kap.6.1).

## 6.4 Diskussion der Ergebnisse

Die digitale Fluoreszenzkamera VistaProof wurde in der hier durchgeführten in-vivo-Studie zur Verlaufskontrolle von gesunden Zähnen und initialen Läsionen an Milchmolaren und bleibenden Seitenzähnen im Vergleich zur visuellen Befundung eingesetzt.

Insgesamt ließ sich eine signifikant positive Korrelation zwischen der visuellen Befundung und den Fluoreszenzwerten der Digitalkamera ermitteln. Demnach konnte die visuelle Detektion sowie die Progression der kariösen Läsionen durch die Messungen mit der Digitalkamera nachvollzogen werden. Diese Ergebnisse können die Daten von anderen Studien bestätigen, wobei hier in den In-vitro-Untersuchungen höhere Korrelationen ( $r$  bis zu 0,75) erzielt wurden [*Rosen 2010*].

Sowohl die visuelle Befundung mittels ICDAS, als auch die Fluoreszenzmessung mit der Digitalkamera VistaProof zeigten in zahlreichen Studien eine hohe Korrelation zur Histologie [Jablonski-Momeni et al. 2008].

Ergebnisse aus Studien, die unter Laborbedingungen durchgeführt wurden, lassen sich nicht immer uneingeschränkt auf die klinische Situation übertragen, jedoch können häufig Tendenzen für die klinische Praxis aufgezeigt werden. Das visuelle Verfahren zur Kariesdiagnostik weist eine gute Korrelation zur histologischen Tiefe der Karies auf und kann zumindest ein Argument für die Anwendung des ICDAS als Referenzwert darstellen.

Die Digitalkamera VistaProof zeigte bei der Erfassung von Schmelzläsionen einer klinischen Studie gute Ergebnisse, wobei die Sensitivität für die Erfassung von Dentinläsionen geringer ausfiel [Jablonski-Momeni, Klein et al. 2013].

Die hier durchgeführte in-vivo-Studie überprüfte erstmals die Anwendung dieses Verfahrens in der Verlaufskontrolle bei Kindern. Demnach können hierzu keine Vergleiche zu analogen Studienverläufen gezogen werden.

Ferreira Zandoná et al. [2013] untersuchten über einen Zeitraum von vier Jahren an 338 Kindern Initialläsionen mittels ICDAS und Quantitativer lichtinduzierter Fluoreszenz (QLF), wobei ermittelt wurde, dass durch die Kombination beider Verfahren die diagnostische Güte signifikant gesteigert werden konnte. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die Beobachtung rascher Änderungen der Fluoreszenzfläche oder Fluoreszenzintensität ein signifikantes Zeichen für eine Läsionsprogression hin zur Kavitation darstellen kann. Der Ermittlung solcher Änderungen könne eine größere klinische Relevanz zugesprochen werden als der Erfassung eines einzelnen aktuellen Messergebnisses. Besonders für Okklusalflächen konnte bei einem Beobachtungszeitraum von zwölf Monaten und eingangs erfasster Läsionstiefen entsprechend der ICDAS- Codes 1 und 2 eine mit 34 % häufigere Läsionsprogression gegenüber einer mit 17% selteneren Remission belegt werden [Ferreira Zandoná et al. 2010].

In der hier durchgeführten Studie konnte an 6,3 % der untersuchten Flächen eine Progression festgestellt werden (n = 120; vgl. Tab. 9 und 10).

Wie bereits dargestellt, kann in Deutschland und weiten Teilen Westeuropas seit Jahren ein deutlicher Kariesrückgang beobachtet werden [Glass 1982, Marthaler 2004]. Dennoch zeichnet sich in den letzten Jahrzehnten eine zunehmende Polarisierung der Karies ab [Pieper 2010].

Noch immer bleibt ein erheblicher Anteil der Milchzähne unversorgt, was den Fokus der Therapie in der Kinderzahnheilkunde nach wie vor auf die Dentinkaries richtet. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit der Diagnose und dem Management von Initialläsionen einen höheren

Stellenwert zuzuschreiben, da die unzureichende Detektion bzw. mangelhafte Prävention solcher Defekte sonst in vielen Fällen zur Progredienz in die Dentinschicht führen kann.

In der hier vorliegenden Studie wurde die Läsionstiefe mit der Fluoreszenzkamera VistaProof, wie bereits beschrieben, anhand zweier Trennpunkte bestimmt, zum einen auf der Basis der zugrunde liegenden Angaben des Herstellers und zum anderen auf der in der Literatur dargelegten Ergebnisse.

Die Festlegung solcher Schwellenwerte bedarf prinzipiell einer genaueren Darstellung:

Wird für ein diagnostisches Testverfahren ein Schwellenwert niedrig definiert, wird eine relativ hohe Anzahl von Zähnen als krank diagnostiziert. Hierbei besteht allerdings die Gefahr einer falsch positiven Bewertung gesunder Zähne, wobei auch unbedenkliche Verfärbungen ohne Beeinträchtigung der Hartschubstanz als krank einstuft würden. Im schlimmsten Fall könnte dies dann zu einer unnötigen operativen Intervention führen. Liegt aber ein hoher Schwellenwert vor, werden unter Umständen übermäßig viele Messpunkte als gesund eingestuft, was wiederum zu falsch negativen Befunderhebungen führen kann, wodurch kariöse Zähne irrtümlich als gesund diagnostiziert würden.

Somit kann die Definition eines niedrigen Schwellenwertes in der praktischen Anwendung zu unnötigen invasiven Therapiemaßnahmen an gesunden Zähnen führen. Wie eine Studie von *Fung et al. [2004]* zeigt, kann dieses Risiko durch die Verwendung eines relativ hohen Schwellenwertes gesenkt werden, was sich besonders in Populationen mit relativ geringem Kariesrisiko empfiehlt. In jedem Fall muss dem behandelnden Zahnarzt bewusst sein, dass Schwellenwerte immer nur als Orientierungshilfe dienen und niemals der entsprechenden Therapieentscheidung als alleiniges Kriterium zu Grund gelegt werden dürfen.

Zugegebenermaßen ist die Diskussion des definierten klinischen „Goldstandards“ bzw. Referenzwertes sinnvoll, da sich natürlich in der klinischen Situation aus ethischen Gründen die genauere Inspektion jedes einzelnen untersuchten Zahnes durch standardisierte Röntgendiagnostik bzw. invasive Inspektion des betroffenen Gebiets verbietet. Somit wurden möglicherweise Initialläsionen die in der visuellen Inspektion als gesund eingestuft wurden nicht als solche definiert.

Das Kariesaufkommen in der hier untersuchten Kohorte kann als niedrig eingestuft werden (89,9 % gesunde Zahnflächen gemäß klinischem Referenzwert, Tab.7 und 8). In einer solchen Patientenkonstellation würde eine Einstufung von Verfärbungen als kariös bzw. behandlungsbedürftig zwangsläufig zu einem „Overtreatment“ an sonst unauffälligen Zahnstrukturen führen. Andererseits könnten Zahnstrukturen, die fälschlicherweise als gesund eingestuft wurden, trotzdem durch präventive Therapiemaßnahmen gereinigt und fluoridiert



werden. Durch die zeitlich eng gewählten Recallabstände könnte in der Folgesitzung eine nun als manifest einzustufenden Läsionen detektiert werden und umgehend konservierende Therapiemaßnahmen durchgeführt werden.

Die in dieser Studie erhobenen Daten zur Sensitivität und Spezifität müssen allerdings kritisch diskutiert werden, da das Studiendesign einen „echten“ Goldstandard nicht vorgegeben hat. Deshalb wurde hier auf die Berechnung der positiven und negativen prädiktiven Werte verzichtet.

Des Weiteren bleibt zu beachten, dass die flächenbezogene Auswertung möglicherweise eine statistische „Bias“ zur Folge haben kann, da mehrere Flächen je Zahn gemessen wurden. Eine von *Rosen [2010]* durchgeführte in-vitro-Studie, in welcher mehrere Messpunkte je Okklusalfäche betrachtet wurden, ließ die Schlussfolgerung zu, dass eine leichte Abhängigkeit von Messergebnissen des VistaProof nicht ausschließbar sei. Da jedoch bei in-vivo-Untersuchungen zusätzlich weitere diagnostische Erfassungsmöglichkeiten (u.a. visuelle Inspektion der Läsionen, Anfärben mittels Erythrosin-Kariesdetektor, Inspektion mit stumpfer Sonde) die Therapieentscheidung unterstützen, ist dieser Effekt als eher geringfügig anzusehen. Zur genauen Detektion des Approximalbereichs werden nach wie vor primär Bissflügelaufnahmen eingesetzt. Für die Anwendung auf Okklusal- und Vestibulärflächen ist dieses Verfahren zur Erfassung initialer Schmelzläsionen allerdings nur eingeschränkt bzw. unzureichend verwendbar. Die kariöse Läsion an Grübchen und Fissuren lässt sich in der Regel röntgenologisch erst dann diagnostizieren, wenn der Prozess bereits bis in das Dentin fortgeschritten ist [*Lussi et al. 2003*].

Heutzutage wird zwar durch den Einsatz digitaler Röntgengeräte eine deutliche Strahlenreduktion erreicht, jedoch ist es sinnvoll zur genauen Differenzierung des Läsionsgrades (Schmelz- bzw. Dentinläsion) non-invasive Verfahren einzusetzen und anschließend mithilfe weiterer Diagnosemittel die Information über Läsionstiefe bzw.-Dimension zu ermitteln. Die Datenspeicherung und Bilddokumentation mit der Fluoreszenzkamera und der zugehörigen Software DBSWIN (Abb.16) bieten hierbei hinsichtlich der Verlaufskontrolle an gesunden und initialkariösen Zähnen deutliche Vorteile, da die entsprechenden Bilddateien jederzeit abrufbar sind und zur Verlaufskontrolle mit neu angefertigten Bildern herangezogen werden können. Die visuelle Präsentation oraler Befunde kann innerhalb eines Behandlungsablaufs und insbesondere über den Verlauf mehrerer Behandlungen hinweg zur besseren Kommunikation mit dem Patienten bzw. dessen

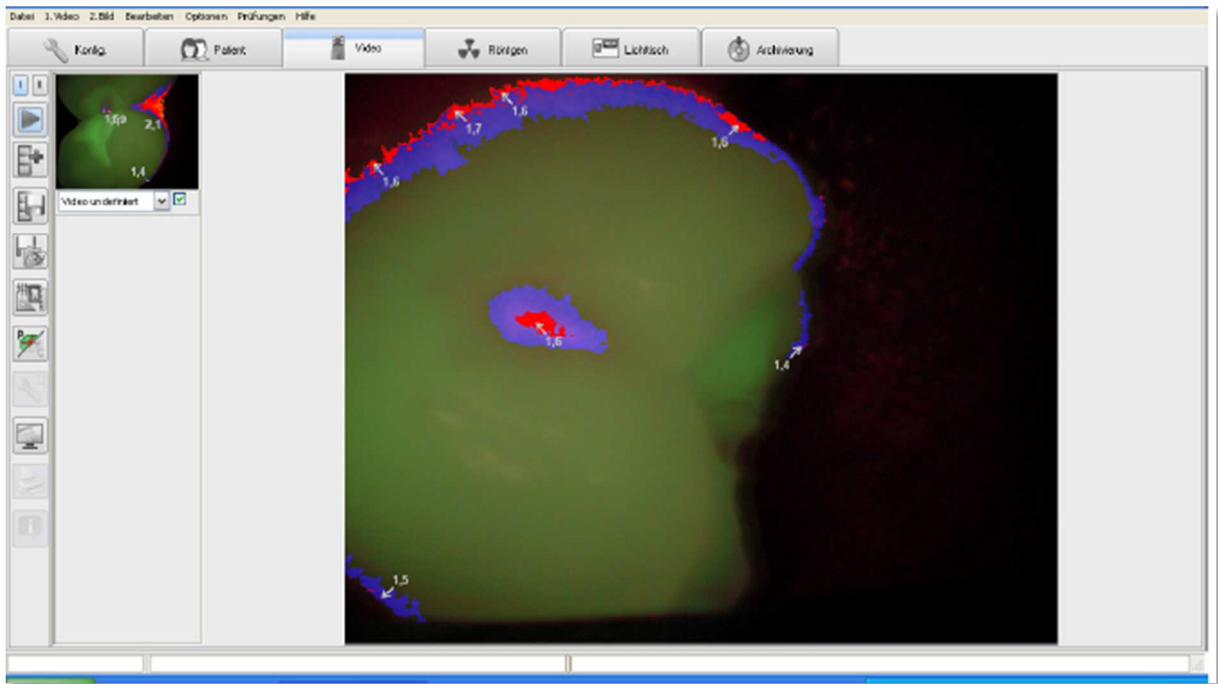


Abbildung 16: Software DBSWIN, Bild aus Studie (anonymisiert)

Erziehungsberechtigten effektiv eingesetzt werden um die Motivation und Compliance zu verbessern.

Das in dieser In-vivo-Studie gewählte Studiendesign ermöglichte dem Behandler über einen Zeitraum von über achtzehn Monaten eine genaue Verlaufskontrolle an drei Untersuchungszeitpunkten durchzuführen. Das Monitoring über einen solchen Zeitraum bietet erhebliche Vorteile, besonders für die Entscheidungsfindung bei der Wahl des richtigen Interventionszeitpunktes an initialen Läsionen. So konnten in dieser Studie zu Beginn an 90 % der zu untersuchenden Zahnflächen visuell keine Anzeichen einer Karies festgestellt werden, wohingegen bei 10 % eine initiale Veränderung erfasst werden konnte. Dieser prozentuale Anteil stieg auf 11,3 % nach sechs Monaten (t2) und 14,7 % nach zwölf Monaten (t3).

Im Zeitraum von zwölf Monaten konnte bei 120 Zahnflächen (bei 94 Zähnen) eine Progression des ICDAS-Codes festgestellt werden. Wie die Ergebnisse der Studie zeigen, wurden die visuellen Befunde durch die Messungen mit der VistaProof-Kamera bestätigt und dokumentiert. Nach Abschluss der Studie konnten die Ergebnisse mit den Patienten und deren Erziehungsberechtigten anschaulich diskutiert werden und das Verständnis für geplante Therapiemaßnahmen wurde positiv beeinflusst.

Diese Vorgehensweise in der Befundung kariöser Läsionen bietet dem Patienten eine deutlich verbesserte Qualitätskontrolle in der zahnärztlichen Praxis. Die Auswertung der erfassten Daten

kann durch die anschauliche Bildgebung eindeutig dargestellt werden. Auch im Rahmen der Individualprophylaxe bietet die Anwendung des Systems erhebliche Vorteile, denn durch die Verwendung des sogenannten „Plaque-Modus“ wird eine genaue Dokumentation des Mundhygienestatus ohne die Verwendung von Plaquerevelatoren möglich, wodurch die Patienten Compliance positiv beeinflusst werden kann. Diese Dokumentationsmöglichkeit war jedoch in der vorgelegten Studie nicht Gegenstand der Untersuchungen, jedoch konnte der positive Effekt auf Patient bzw. Erziehungsberechtigten im Behandlungsverlauf festgestellt werden.

Ein Nachteil des VistaProof-Systems stellt die erforderliche Hard- und Software dar. Eine Vorinstallation von Seiten des Herstellers ist zwingend erforderlich, wodurch das Einsatzgebiet der Kamera systemspezifisch limitiert bleibt.

Außerdem ist kritisch zu betrachten, dass die Befundung mehrerer Zähne pro Sitzung einen erheblich höheren Zeitaufwand erfordert als die gängige Röntgendiagnostik, wobei dem Einsatz bildgebender Verfahren zur Kariesdiagnostik keine kassenzahnärztliche Vergütung nach Bema bzw. GOZ zu Grunde gelegt werden kann. Demnach bleibt ein solches Verfahren nur mittels entsprechender „Analog-Positionen“ (§ 6.1 GOZ) abrechenbar, was für die Patienten zusätzliche Privatkosten erzeugen würde. Welche nach Art, Kosten- und Zeitaufwand gleichwertige Leistung aus der GOZ bzw. GOÄ als „Analog-Leistung“ zu Grund gelegt wird, bleibt demnach im Ermessensspielraum des behandelnden Zahnarztes.

## 6.5 Schlussfolgerung

Die vorliegende Studie und ihre Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass die Verwendung der digitalen Fluoreszenzkamera VistaProof zur Verlaufskontrolle von okklusalen Läsionen auf Schmelzniveau gute Ergebnisse liefern konnte, wobei durch den alleinigen Einsatz des Systems nicht alle Veränderungen zuverlässig erfasst werden konnten. Es ist daher zu empfehlen, dieses technische Detektionsverfahren nicht als alleinige Maßnahme einzusetzen, sondern immer ergänzend zu den visuellen Befund des Behandlers zu verwenden. Ein deutlicher Vorteil des Systems liegt unter anderem darin, dass kariesbedingte Veränderungen der Zahnhartsubstanz für Patient und Eltern gut nachvollziehbar dargestellt und dokumentiert werden können. Im heutigen Praxisalltag ist mit zunehmender Digitalisierung der

Einsatz benutzer- bzw. patientenorientierter Oberflächengestaltungen dentaler Soft- und Hardware zunehmend vertreten und stellt in diesem Beispiel sicherlich einen wertvollen Beitrag für die Kommunikation mit dem Patienten dar.

Im Verlauf der Studie kann des Weiteren positiv hervorgehoben werden, dass das Anfertigen digitaler Bilder zur Kariesdiagnostik mit der Intention, auf den Einsatz von Röntgenstrahlung zu verzichten, besonders bei den Erziehungsberechtigten positiven Anklang finden konnte. Wie bereits erwähnt, bleibt kritisch anzumerken, dass dem deutlich höheren Zeitaufwand zur Diagnose mit der VistaProof-Kamera im Moment keine kassenzahnärztliche Vergütung zugeordnet werden kann.

Die Möglichkeit, die mit der VistaProof-Kamera erstellten Bilder, im Rahmen der Verlaufskontrolle zu jedem Zeitpunkt miteinander vergleichen zu können und somit den optimalen Zeitpunkt der invasiven Intervention festzulegen, ist ein weiterer sehr wertvoller Aspekt für den klinischen Alltag. Dies kann gewährleisten, dass Maßnahmen zur Prävention bzw. Remineralisation oder Regeneration überhaupt erst adäquat eingesetzt werden können.

Wird die Progredienz der kariösen Strukturdefekte als wahrscheinlich eingestuft, sind natürlich entsprechende Versorgungsmaßnahmen einzuleiten. Hierbei müssen für die richtige Therapieentscheidung stets weitere Faktoren wie z.B. das Patientenalter, die Ermittlung des individuellen Kariesrisikos durch Erhebung einer Ernährungs- und Fluoridanamnese sowie die korrekte Einschätzung der aktuellen Kariesaktivität im Verhältnis zur vorliegenden Mundhygiene des Patienten miteinbezogen werden [Pitts *et al.* 2014].

## **7 Zusammenfassungen**

### **7.1 Zusammenfassung**

#### **Klinischer Einsatz einer fluoreszenzbasierten Intraoralkamera für die Verlaufskontrolle an gesunden und initialkariösen Zähnen**

##### **Problemstellung:**

Die frühzeitige Detektion der Karies stellt eine wichtige Anforderung an die moderne Zahnheilkunde dar. Zwar ist in Deutschland und vielen europäischen Ländern ein deutlicher Rückgang der Kariesprävalenz zu beobachten, dennoch ist die Karies nach wie vor die häufigste Erkrankung der Mundhöhle. Die Aufgabe des Zahnarztes liegt heute somit vermehrt in der frühzeitigen Diagnose initialer Läsionen und in der Auswahl adäquater Therapiemaßnahmen zum richtigen Zeitpunkt. Der Behandler kann in den letzten Jahren vermehrt auf technische Verfahren zurückgreifen um seine visuelle Inspektion zu unterstützen. Technische Diagnoseverfahren haben jedoch immer produktspezifische Charakteristika, die ihr Einsatzgebiet und ihre Anwendung limitieren. In der modernen Zahnmedizin bedarf es also subtilerer Indizes und Diagnostika mit derer sich bereits Initialläsionen erfassen lassen, die sich oftmals der optischen Beurteilung des Zahnarztes entziehen. Ein solches System zur klinischen Kariesdetektion wäre ideal um prophylaktische Maßnahmen gezielt und kosteneffektiv einsetzen zu können

##### **Ziel:**

Gesunde Zahnflächen und initiale Läsionen benötigen eine regelmäßige Verlaufskontrolle, zur Prävention einer möglichen Kariesentstehung bzw. zur frühzeitigen Erfassung der Kariesprogression. In der vorliegenden in-vivo-Studie sollte die Eignung der Fluoreszenzkamera VistaProof zur Verlaufskontrolle („Monitoring“) von gesunden Zahnflächen und Initialläsionen bei Kindern überprüft werden.

##### **Probanden und Methode:**

Das positive Votum der Ethikkommission des Fachbereichs Medizin lag vor Beginn der Studie vor. Nach Aufklärung und schriftlicher Einwilligung der Studienteilnehmer und deren Erziehungsberechtigter wurde die Untersuchung bei 36 Patienten (Altersdurchschnitt 9,1 Jahre) an insgesamt 421 Seitenzähnen ( $\cong n=1892$  Flächen) visuell (ICDAS als Referenzwert) und mit dem VistaProof durchgeführt. Nach 6 und 12 Monaten erfolgten die jeweiligen Recalls. Die

statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (15.0) und MedCalc (Version 11.3.4.0). Zur Überprüfung der ICDAS-II-Reproduzierbarkeit, wurde Cohens-Kappa ( $\kappa$ ) berechnet. Die Korrelation der Verfahren wurde mit der Rangkorrelation nach Spearman ( $r_s$ ) berechnet. Es erfolgte die Auswertung der Diagnostischen Güte (AUC) sowie der Sensitivität und Spezifität. Mit dem Wilcoxon-Test wurde überprüft, ob Veränderungen der Zahnhartsubstanz mit dem VistaProof im Vergleich zum ICDAS gleichermaßen erfasst werden konnten. Das Signifikanzniveau konnte auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt werden.

### **Ergebnisse:**

Alle Korrelationen waren signifikant positiv ( $r_s$ : 0,54-0,66;  $p < 0,01$ ). Alle Befunde zeigten einen signifikanten Zusammenhang ( $\chi^2 < 0,001$ ). Die diagnostische Güte des VistaProof war hoch, wobei Sensitivität und Spezifität je nach Cut-off Punkt variierten. Die Betrachtung der Kreuztabellen zeigt, dass zu Beginn der Studie 90 % der untersuchten Zahnflächen visuell keine Anzeichen einer Läsion aufwiesen (ICDAS-Code 0;  $n = 1700$ ), während bei 10 % eine initiale Veränderung erfasst wurde (ICDAS-Codes 1 und 2). Dieser Wert veränderte sich zu 11,3 % nach 6 Monaten ( $t_2$ ) und 14,7 % nach 12 Monaten ( $t_3$ ). Im Verlauf der 12 Monate konnte an 120 Zahnflächen (bei 94 Zähnen) eine Progression des ICDAS-Codes festgestellt werden. Davon waren 47 Flächen (39 %) der Milchmolaren und 73 Flächen (61 %) der bleibenden Seitenzähne betroffen. Der Wilcoxon Test zeigte für ICDAS Befunde signifikante Unterschiede zwischen allen Zeitpunkten ( $t_1/t_2$ :  $p = 0,011$ ,  $t_2/t_3$ :  $p < 0,001$ ). Für die Fluoreszenzmessungen wurden signifikante Unterschiede nur zwischen der ersten und zweiten Untersuchung ( $p < 0,001$ ) ermittelt, während die Messreihen zwischen  $t_2/t_3$  keinen signifikanten Unterschied aufwiesen ( $p = 0,700$ ). Die Daten zur diagnostischen Güte des VistaProof zeigten, dass je nach Trennpunkt die Werte für Sensitivität und Spezifität des VistaProof deutlich variieren. Die Sensitivität zur Erfassung von Läsionen fällt bei Milchzähnen etwas geringer aus als bei bleibenden Zähnen (SE 74,5%-100%, SP 0%-97,1%).

### **Schlussfolgerung:**

Die vorliegende Studie und ihre Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass die Verwendung der digitalen Fluoreszenzkamera VistaProof zur Verlaufskontrolle von okklusalen Läsionen auf Schmelzniveau gute Ergebnisse liefern konnte, wobei durch den alleinigen Einsatz des Systems nicht alle Veränderungen zuverlässig erfasst werden konnten. Es ist daher zu empfehlen, dieses technische Detektionsverfahren immer in Ergänzung zum visuellen Befund des Behandlers einzusetzen.

## 7.2 Summary

### **Use of a fluorescence-based intraoral camera for monitoring sound teeth and incipient carious lesions.**

#### **Objective:**

The early detection of dental caries is fundamental to the modern dentistry. While a decline in the prevalence of dental caries has been observed in Germany and many other European countries, caries nevertheless still represents the most common disease of the oral cavity. The early detection of incipient lesions and the choice of appropriate and timely therapeutic measures are paramount to dental practice in the current era. The modern practitioner increasingly has access to new technologies to support visual inspection. These novel diagnostic technologies each come with their own product-specific performance characteristics, potentially limiting the scope of their clinical application. The success of modern dentistry therefore rests in part on the identification and application of more subtle diagnostic techniques to detect incipient lesions that often elude the optical assessment alone. Such a clinical caries detection system would be ideal for the optimization of targeted, cost-effective prophylactic measures.

#### **Aim:**

Sound tooth surfaces and incipient lesions require regular follow-up in order to prevent possible caries or for the early detection of incipient caries progression. In the present in vivo study, the ability of the digital fluorescence camera VistaProof to monitor healthy tooth surfaces and incipient lesions in children during follow-up will be evaluated.

#### **Subjects and Methods:**

The positive vote of the Ethics Commission had already been obtained before the study began. Informed and written consent was obtained for all study participants and their guardians. The study comprised 36 patients (mean age 9.1 years), resulting in a total of 421 teeth ( $\triangleq$  n=1892 surfaces) for assessment. Visual assessment using the ICDAS system provided a reference value that was compared to assessment with the VistaProof fluorescence camera. Systematic follow-up was conducted at 6 and 12 months for both visual and fluorescence inspection. Statistical analyses were performed with SPSS (v15.0) and MedCalc (v11.3.4.0) statistical software. The reproducibility of the ICDAS II was calculated using the Cohen kappa ( $\kappa$ ).

Correlation between the ICDAS-II method and the VistaProof assessment was determined using the Spearman's rank correlation ( $r_s$ ). The diagnostic accuracy of VistaProof was assessed using the area under the curve (AUC) method and the ICDAS-II assessment as the reference standard. Sensitivity and specificity were also determined in this way. The Wilcoxon test was used to determine whether changes in the enamel could be detected by VistaProof when there was no change in the ICDAS score. The level for statistical significance was set at an  $\alpha = 0.05$ .

**Results:**

All correlations were statistically significant and positive in direction ( $r_s$ : 0.54 to 0.66;  $p < 0.01$ ). All findings showed a significant association ( $\chi^2 < 0.001$ ). The diagnostic accuracy of VistaProof was high, with sensitivities and specificities varying depending on the positivity cut-off used. The consideration of the crosstabs revealed that 90% of examined tooth surfaces showed no visual signs of lesions (ICDAS code 0;  $n = 1700$ ) at the beginning of the study, while an early changes could be detected in 10% (ICDAS codes 1 and 2). Early changes could be detected by visual inspection in 11.3% at 6 months (T2) and 14.7% at 12 months (t3).

Over the course of the 12 months, therefore, progression of ICDAS codes was observed in 120 tooth surfaces (94 teeth). Of these, 47 surfaces (39%) involved the primary molars and 73 (61%) affected permanent teeth. There were significant differences between ICDAS results for all time points (t1 / t2: Wilcoxon  $p = 0.011$ , t2 / t3:  $p < 0.001$ ). For fluorescence measurements, a significant difference was found between the first and second examination ( $p < 0.001$ ), whereas difference in measurements between t2/t3 failed to attain statistical significance ( $p = 0.700$ ). It is important to note that not only does diagnostic accuracy and test characteristics of VistaProof vary considerably depending on the cut-off point used, as noted above, but also that the sensitivity for detecting lesions in deciduous teeth appears somewhat lower than in permanent teeth (SE 74.5%-100%, SP 0%-97.1%).

**Conclusion:**

The present study suggests that the use of the VistaProof digital fluorescence camera to monitor the progress of enamel lesions could provide comparable results to detailed visual inspections, although not all changes could be reliably detected by the sole use of the system. It is therefore recommended to use this technical detection methods in addition to the usual detailed visual inspection.



## 8 Literaturverzeichnis

1. American Dental Association: The Selection of Patients for dental radiographic examinations. U S Department of Health and Human Services PHS, Food and Drug Administration (2004)  
available online at: <http://www.biomedcentral.com/bmchealthservres/supplements/15/S1>.
2. Backer Dirks O: Post eruptive changes in dental enamel. J Dent Res 45, 503-511 (1966).
3. Bader JD, Shugars DA, Bonito AJ: Systematic reviews of selected dental caries diagnostic and management methods. J Dent Educ 65, 960-968 (2001).
4. Benedict H: The fluorescence of teeth as another method of attack on the problem of dental caries. J Dent Res, 9, 274-275 (1929).
5. Bortz J: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler (6.Auflage). Heidelberg: Springer. (2005).
6. Braga MM, Oliveira LB, Bonini GAVC, Bönecker M, Mendes FM: Feasibility of the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) in epidemiological surveys and comparability with standard World Health Organization criteria. Caries Res 43, 245-249 (2009b).
7. Buchalla W, Attin T, Niedmann Y, Niedmann PD, Lennon AM: Porphyrins are the cause of red fluorescence of carious dentine: verified by gradient reversed-phase HPLC (Abstract). Caries Res 42, 223 (2008).
8. Buchalla W, Lennon AM, Brune L, Zimmermann O, Gross U, Attin T: Red and Green Fluorescence Emitted by Cultured Bacteria. Caries Res 39, 302-303 (2005).
9. Caries Detection and Assessment System (ICDAS II) & Criteria Manual, Baltimore (2005). (<http://www.icdas.org>).
10. Carvalho JC, Ekstrand KR, Thylstrup A: Dental plaque and caries on occlusal surface of first permanent molars in relation to stage of eruption. J Dent Res 68, 773-779 (1989).

11. Clerehugh V, Blinkhorn AS, Downer MC, Hodge HC, Rugg-Gunn AJ, Mitropoulos CM, Worthington HV: Changes in the caries prevalence of 11-12-year-old schoolchildren in the North-West of England from 1968 to 1981. *Community Dent Oral Epidemiol* 11, 367-370 (1983).
12. Crabb HSM: Fissures at risk. *Br Dent J* 140, 303-307 (1976).
13. De Benedetto M, Carvalho Morais C, Fernandes Novaes T, de Almeida Rodrigues J, Minatel Braga M, Medeiros Mendes F: Comparing the reliability of a new fluorescence camera with conventional laser fluorescence devices in detecting caries lesions in occlusal and smooth surfaces of primary teeth. *Lasers Med Sci* 26, 157-162 (2011).
14. Demtröder W. *Laserspektroskopie: Grundlagen und Techniken*. Berlin: Springer Verlag, (2000)
15. Dünninger P, Pieper K: Ergebnisse zur Prävalenz von Karies und Dentalfluorose. Mundgesundheitszustand und Verhalten in Deutschland. Ergebnisse des Nationalen IDZ Survey 1989. Deutscher Ärzteverlag Köln (1991).
16. Eberhart J, Frentzen M, Thoms M: New method to detect caries via fluorescence. *ZWR* 116, 148-154 (2007)
17. Ekstrand KR, Quist V, Thylstrup A: Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res* 21, 368-374 (1987).
18. Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA: Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 31, 224-231 (1997).
19. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM, Qvist V, Schou S: Detection, diagnosing, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an in vivo examination with histological validation. *Caries Res* 32, 247-254 (1998).
20. Ellwood RP, Gomez J, Pretty IA: Caries clinical trial methods for the assessment of oral care products in the 21st century. *Advanced Dental Research* 24, 32-35 (2012).
21. Espelid I, Mejare I, Weerheijm K: EAPD guidelines for use of radiographs in children. *Eur J Paediatr Dent* 4, 40-48 (2003).

22. Featherstone JDB: The Continuum of Dental Caries-Evidence for a Dynamic Disease Process. *Journal of Dental Research* 83, C39-C42 (2004).
23. Ferreira Zandoná A, Ando M, Gomez GF et al.: Longitudinal analyses of early lesions by fluorescence: an observational study. *J Dent Res* 92, 84-89 (2013).
24. Ferreira Zandona A, Santiago E, Eckert G J, Katz B P, Pereira de Oliveira S, Capin O R, Mau M, Zero D T: The Natural History of Dental Caries Lesions: A 4-year Observational Study. *J Dent Res* 91, 841-846 (2012).
25. Ferreira Zandoná A, Santiago E, Eckert G, Fontana M, Ando M, Zero DT: Use of ICDAS combined with light-induced fluorescence as a caries detection method. *Caries Res* 44, 317-322 (2010).
26. Feyerskov O, Ekstrand K, Burt BA: Fluoride in Dentistry. Levin und Munksgaard, Kopenhagen (1996).
27. Fung L, Smales R, Ngo H, Mount G: Diagnostic comparison of three groups of examiners using visual and laser fluorescence methods to detect occlusal caries in vitro. *Australian Dent J* 49, 67-71 (2004).
28. Gerthsen C, Vogel H. Physik. 20.Auflage, Springer Verlag Berlin (1999).
29. Glass RL (ed.): The first international conference and the declining prevalence of dental caries. *J Dent Res* 61 (Spec Iss), 1304-1383 (1982).
30. Grouven U, Bender R, Ziegler A, Lange S: Der Kappa-Koeffizient – Artikel Nr. 23 der Statistik-Serie in der DMW – Dtsch Med Wochenschr 132, e65-e68 (2007).
31. Haak R, Wicht MJ, Hellmich M, Gossmann A, Noack MJ: The validity of proximal caries detection using magnifying visual aids. *Caries Res* 36, 249-255 (2002).
32. Hannigan A, O'Mullane DM, Barry D, Schäfer F, Roberts AJ: A caries susceptibility classification of tooth surfaces by survival time. *Caries Res* 34, 103-108 (2000).
33. Heinrich-Weltzien R, Haak R, Buchalla W, Kühnisch J: Kariesdiagnostik Eine Herausforderung für den Zahnarzt? *ZWR* 117, 160-168 (2008).

34. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J: Stellenwert der Bissflügel Röntgenaufnahme zur Kariesdiagnostik bei Kindern und Jugendlichen. ZWR 116, 157-164 (2007).
35. Heinrich-Weltzien R, Weerheijm K, Kühnisch J, Oehme T, Stöber L: Clinical evaluation of visual, radiographic, and laser fluorescence methods for detection of occlusal caries. ASDC J Dent Child 69, 127-132 (2002).
36. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Zahnärzte-Verlag Köln (2009).
37. Hibst R: Optische Methoden zur Kariesdiagnose. ZWR 108, 50-55 (1999).
38. Hirsig, R.: Statistische Methoden in den Sozialwissenschaften: Eine Einführung im Hinblick auf computergestützte Datenanalysen mit SPSS für Windows: Band 1 (3.Auflage), Zürich (2001)
39. Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). ZWR 113, 254-248 (2004).
40. International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) Coordinating Committee: The rationale and evidence for the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) & Criteria Manual, Baltimore (2005).
41. Ismail AI, Pitts NB, Ekstrand KR; Martignon M, Douglas GVA, Longbottom C: ICCMS™- Guide for Practitioners and Educators. ICDAS Foundation (2014), ([www.icdas.org](http://www.icdas.org)).
42. Ismail AI, Pitts NB, Tellez M: The International Caries Classification and Management System (ICCMS™) an example of a Caries Management Pathway. BMC Oral Health 15: S9 (2015).
43. Ismail AI, Sohn W, Lim S und Willem JM: Predictors of dental caries progression in primary teeth. J Dent Res 88, 270-5 (2009).
44. Ismail AI, Tellez M, Pitts NB, et al: Caries management pathways preserve dental tissues and promote oral health. Community Dent Oral Epidemiol, 41:e12-e40 (2013)
45. Ismail AI: Clinical diagnosis of precavitated carious lesion. Community Dent Oral Epidemiol 25, 13-23 (1997).

46. Jablonski-Momeni A, Busche JF, Struwe C, Lange J, Heinzl-Gutenbrunner M, Frankenberger R, Pieper K.: Use of the international caries detection and assessment system two-digit coding method by predoctoral dental students at Philipps University of Marburg, Germany. *J Dent Edu* 76, 1657-1666 (2012).
47. Jablonski-Momeni A, Hartmann T, Stoll R, Pieper K: Kariesprävalenz und Behandlungsbedarf bei 12Jährigen in Marburg in den Jahren 2002 bis 2006. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 29, 161-164 (2007).
48. Jablonski-Momeni A, Heinzl-Gutenbrunner M, Klein SMC: In-vivo performance of the VistaProof fluorescence based camera for detection of occlusal lesions. *Clinical Oral Investigations* 18, 1757-1762 (2014a)
49. Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Heinzl-Gutenbrunner M, Stoll R, Stachniss V, Pieper K: Impact of scoring single or multiple occlusal lesion on estimate of diagnostic accuracy of the visual ICDAS-II system. *Int J Dent* DOI 10.1155/2009/798283 (2009).
50. Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Weber K, Ziomek O, Heinzl- Gutenbrunner M, Schipper HM, Stoll R, Pieper K: Effekt of different time intervals between examinations on the reproducibility of ICDAS-II for occlusal caries. *Caries Res* 44, 267-271 (2010).
51. Jablonski-Momeni A, Rosen SM, Schipper HM et al.: Impact of measuring multiple or single occlusal lesions on estimates of diagnostic accuracy using fluorescence methods. *Lasers Med Sci* 27, 343-352 (2012).
52. Jablonski-Momeni A, Rosen SM, Schipper HM, Stoll R, Roggendorf MJ, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K: Impact of measuring multiple or single occlusal lesions on estimates of diagnostic accuracy using fluorescence methods. *Lasers Med Sci* 27, 343-352 (2012a).
53. Jablonski-Momeni A, Stachniss V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 42, 79-87 (2008).
54. Jablonski-Momeni A, Stucke J, Steinberg T, Heinzl-Gutenbrunner M: Use of ICDAS-II fluorescence-based methods and radiography in detection and treatment decision of occlusal caries lesions: an in vitro study. *Int J Dent* DOI 10.1155/2012/371595 (2012b).

55. Jablonski-Momeni A, Winter J, Petrakakis P, Schmidt-Schäfer S: Caries prevalence (ICDAS) in 12-year-olds from low caries prevalence areas and association with independent variables. *International Journal of Paediatric Dentistry* 24: 90-97 (2014b).
56. Jenkins DJ, Wolever TM, Vuksan V, Brighenti F, Cunnane SC, Rao AV, Jenkins AL, Buckley G, Patten R, Singer W, Corey P, Josse RG: Nibbling versus gorging: metabolic advantages of increased meal frequency. *N Engl J Med* 321 (14), 929-934 (1989).
57. Juhl M: Localization of carious lesions in occlusal pits and fissures of human premolars. *Scand J Dent Res* 91, 251-255 (1983).
58. Karlsson L: Caries detection methods based on changes in optical properties between healthy and carious tissue. *Int J Dent* DOI 10.1155/2010/270729 (2010).
59. Keyes PH: Recent advances in dental caries research, Bacteriology, Bacteriological findings and biological implications. *Int Dent J* 12, 443-464 (1962).
60. Kingman A: Statistical issues in risk models of caries; in Bader JD (ed): Risk assessment in dentistry. Chapel Hill, NC University of North Carolina Dental Ecology, 193-200 (1990).
61. König K, Flemming G, Hibst R: Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cell mol Biol* 44, 1293-1300 (1998).
62. König K, Hibst R, Meyer H, Flemming G, Schneckenburger H: Laserinduced autofluorescence of caries regions of human teeth and caries involved bacteria. *Dental Applications of Lasers*, 2080-2081 (1993).
63. König K, Schneckenburger H, Hibst R: Time-gated in vivo autofluorescence imaging of dental caries. *Cell mol Biol* 45, 233-239 (1999).
64. König K: Karies und Kariesprophylaxe. Wilhelm Goldmann Verlag GmbH München (1971).
65. König KG: Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissure as susceptible areas. *J Dent Res* 2, 461-476 (1963).
66. Krause F. Fluoreszenzbasierte optische Methoden zur okklusalen Kariesdiagnostik. *Laser Zahnheilkd* 8, 13-19 (2008).

67. Kühnisch J, Berger S, Goddon I, Senkel H, Pitts N, Heinrich-Weltzien R: Occlusal caries detection in permanent molars according to WHO basic methods, ICDAS II and laser fluorescence measurements. *Community Dent Oral Epidemiol* 36, 475-484 (2008).
68. Kühnisch J, Dietz W, Stösser L, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Effects of dental probing on occlusal surfaces - a scanning electron microscopy evaluation. *Caries Res* 41, 43-48 (2007a).
69. Kühnisch J, Haak R, Buchalla W, Heinrich-Weltzien R: Kariesdetektion und -diagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 29, 166-171 (2007b).
70. Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R, Hickel R: Etablierte und neue Methoden zur Kariesdetektion und -diagnostik. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 32, 106-112 (2010a).
71. Kühnisch J, Pasler FA, Bücher K, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Welche röntgenologischen Effekte erschweren die Auswertung von Bissflügelaufnahmen? *Quintessenz* 58(2), 179-183 (2007c).
72. Kühnisch J, Reichl FX, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: S3-Leitlinie Fissuren- und Grübchenversiegelung. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (2010b).
73. Kühnisch J, Ziehe M, Heinrich-Weltzien R: Eine webbasierte Lernumgebung zum Erlernen der kariesdiagnostischen Auswertung von Bissflügel-Aufnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 60, 516-522 (2005).
74. Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159-174 (1977).
75. Laurisch L: Gratwanderung Kariesdiagnostik: invasiv oder präventiv? *Dtsch Zahnärztl Z* 62, 206-212 (2007).
76. Levine RS: The aetiology of dental caries - an outline of current thought. *Int Dent J* 27, 341-348 (1977).
77. Lichtscheidl IK: Lichtmikroskopie–Theorie und Anwendung. Cell Imaging und Ultrastrukturforschung, Universität Wien (2009).  
([http://www.univie.ac.at/mikroskopie/3\\_fluoreszenz/fluoreszenz.htm](http://www.univie.ac.at/mikroskopie/3_fluoreszenz/fluoreszenz.htm))

78. Liljemark WF und Bloomquist C: Human Oral Microbial Ecology and Dental Caries and Periodontal Diseases. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine* 7, 180-198 (1996).
79. Lussi A, Francescut P, Schaffner M: Neue und konventionelle Methoden zur Diagnose der Fissurenkaries. *Quintessenz* 54, 1037-1046 (2003).
80. Lussi A, Hotz P, Stich H: Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 629-634 (1995).
81. Lussi A, Imwinkelried S, Pitts NB, Longbottom C, Reich E: Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 33, 261-266 (1999).
82. Lussi A: Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 27, 409-416 (1993).
83. Lussi A: Impact of including or excluding cavitated lesions when evaluating methods for the diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 30, 389-393 (1996).
84. Lussi A: Methoden zur Diagnose und Verlaufsd Diagnose der Karies. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 108, 357-364 (1998).
85. Lussi A: Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. *Caries Res* 25, 296-303 (1991).
86. Marcenes W, Kassebaum NJ, Bernabé E, Flaxman A, Naghavi M, Lopez A, Murray CJL: Global Burden of Oral Conditions in 1990-2010: A Systematic Analysis. *J Dent Res* 92: 592-597 (2013)
87. Marthaler TM: Caries status in Europe and prediction of future trends. *Caries Res* 24, 381-396 (1990).
88. Marthaler TM: Changes in dental caries 1953-2003. *Caries Res* 38, 173-181 (2004).
89. Matos R, Novaes TF, Braga MM, Siqueira WL, Duarte DA, Mendes FM: Clinical Performance of Two Fluorescence-Based Methods in Detecting Occlusal Caries Lesions in Primary Teeth. *Caries Res* 45, 294-302 (2011).



90. Mejare I, Källestal C, Stenlund H, Johansson H: Caries development from 11 to 22 years of age: a prospective radiographic study. Prevalence and distribution. *Caries Res* 32, 10-16 (1998).
91. Mejare I, Stenlund H, Julihn A, Larsson I, Permert L: Influence of approximal caries in primary molars on caries rate for the mesial surface of the first permanent molar in swedish children from 6 to 12 years of age. *Caries Res* 35, 178-185 (2001).
92. Mejare I: Bitewing examination to detect caries in children and adolescents-when and how often? *Dent Update* 32, 588-4, 596 (2005).
93. Mendes FM, Ganzerla E, Nunes AF, Puig AV, Imparato JC: Use of high- powered magnification to detect occlusal caries in primary teeth (Abstract). *Am J Dent* 19(1), 19-22 (2006).
94. Micheelis W, Schiffner U: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland 2005, Institut der deutschen Zahnärzte (Hrsg.). Deutscher Ärzte-Verlag Köln (2006).
95. Miller WD: Die Mikroorganismen der Mundhöhle. 2. Auflage, Georg Thieme Verlag Leipzig (1892).
96. Mitropoulos P, Rahiotis C, Kakaboura A, Vougiouklakis G: The impact of magnification on occlusal caries diagnosis with implementation of the ICDAS II criteria. *Caries Res* 46, 82-86 (2012).
97. Momeni A, Hartmann T, Born C, Pieper K: Kariesprävalenz und Behandlungsbedarf bei 12-Jährigen im Kreis Marburg-Biedenkopf. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 26, 153-156 (2005).
98. Momeni A, Hartmann, Born C, Heinzel-Gutenbrunner M, Pieper K: Association of caries experience in adolescents with different preventive measures. *Int J Public Health* 52, 393-401 (2007).
99. Momeni A, Pieper K, Stoll R: Rückgang der Kariesprävalenz bei 6- bis 7Jährigen in Hessen in den Jahren 1994 bis 2000. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd* 24, 99-102 (2002).

100. Nagano T: Relationship between the form of pit and fissure and the primary lesion of caries. *Dent Abstr* 6, 426 (1961).
101. Neuhaus KW, Jost FN, Bürgin W, Hug I, Lussi A: Influence of different magnification devices on visual caries detection with ICDAS (Abstract). *Caries Res* 47, 469 (2013).
102. Palamara J, Phakey P P, Rachinger W A und Orams H J: Laminated zones in carious human dental enamel. *Journal of Oral Pathology* 15, 109-114 (1986).
103. Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, ten Cate JM: Validity of probing fissure caries diagnosis. *Caries Res* 26, 445-449 (1992).
104. Pereira AC, Verdonchot EH und Huysmans MC: Caries detection methods: can they aid decision making for invasive sealant treatment? *Caries Research* 35, 83-89 (2001).
105. Pieper K, Schulte A: The decline in dental caries among 12-year-old children in Germany between 1994 and 2000. *Community Dent Health* 21, 199-206 (2004).
106. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1994. Gutachten. DAJ, Bonn (1995).
107. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1995. Gutachten. DAJ, Bonn (1996).
108. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 1997. Gutachten. DAJ, Bonn (1998).
109. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2000. Gutachten. DAJ, Bonn (2001).
110. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2004. Gutachten. DAJ, Bonn (2005).
111. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2009. Gutachten. DAJ, Bonn (2010).
112. Pine CM und Bosch JJ: Dynamics of and diagnostic methods for detecting small carious lesions. *Caries research* 30, 381-388 (1996).

113. Pitts N: "ICDAS"- an international System for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. *Commun Dent Health* 21, 193-198 (2004).
114. Pitts NB, Ekstrand KR: International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) and its International Caries Classification and Management System (ICCMS)-methods for staging of the caries process and enabling dentists to manage caries. *Community Dent Oral Epidemiol*, 41:e41-e52. (2013).
115. Pitts NB, Ismail AI, Martignon S, Ekstrand K, Douglas GVA, Longbottom C (2014) ICCMS™ Guide for Practitioners and Educators. (<http://www.icdas.org/>)
116. Pitts NB: Modern perspectives on caries activity and control. *J Am Dent Assoc* 142, 790-792 (2011).
117. Pretty IA, Maupome G: A closer look at diagnosis in clinical dental practice: part 5. Emerging technologies for caries detection and diagnosis. *J Can Dent Assoc* 70, 540-540i (2004).
118. Raggio DP, Braga MM, Rodrigues JA, Freitas PM, Imparato JC, Mendes FM: Reliability and discriminatory power of methods for dental plaque quantification. *J Appl Oral Sci* 18(2), 186-193 (2010).
119. Ricketts D, Kidd EAM, Weerheijm K, de Soet H: Hidden caries: what is it? Does it exist? Does it matter? *Int Dent J* 47, 259-265 (1997).
120. Ricketts DNJ, Ekstrand KR, Kidd EAM, Larsen T: Relating visual and radiographic ranked scoring systems for occlusal caries detection to histological and microbiological evidence. *Operative Dent* 27, 231-237 (2002).
121. Ricketts DNJ, Kidd EAM, Beighton D: Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non-cavitated teeth judged to be in need of operative care. *Br Dent J* 179, 214-220 (1995b).
122. Ricketts DNJ, Kidd EAM, Smith BGN, Wilson RF: Clinical and radiographic diagnosis of occlusal caries: a study in vitro. *J Oral Rehabil* 22, 15-20 (1995).
123. Ricketts DNJ, Kidd EAM, Willson RF: A re-evaluation of electrical resistance measurements for the diagnosis of occlusal caries. *Br Dent J* 178, 11-17 (1995a).

124. Ricketts DNJ, Watson TF, Liepin PJ, Kidd EAM: A comparison of two histological validating techniques for occlusal caries. *J Dent* 26, 89-96 (1998).
125. Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A: Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Res* 42, 297-304 (2008).
126. Rodrigues JA, Hug I, Neuhaus KW, Lussi A: Light-emitting diode and laser fluorescence-based devices in detecting occlusal caries. *Journal of Biomedical Optics* 16, (10) (2011).
127. Rohr M, Makinson OF, Burrow MF: Pits and fissures: morphology. *ASDC J Dent Child* 58, 97-103 (1991).
128. Rosen SM, Pieper K, Stachniss V, Heinzl-Gutenbrunner M, Jablonski-Momeni A: Reproducibility of three fluorescence methods for occlusal caries diagnosis in permanent teeth (Abstract). *International Journal of Paediatric Dentistry* 19 (Suppl. 1): 66-170 (2009).
129. Rosen SM: Korrelation des visuellen Diagnosesystems ICDAS-II für die okklusale Karies mit drei verschiedenen Verfahren der Fluoreszenzmessung- eine In-vitro-Studie (2010). (<http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2010/0561/pdf/dsmr.pdf>)
130. Ruckhofer E, Städtler P: Ist Vista Proof eine Hilfe bei der Kariesdiagnostik? *Stomatologie* 107, 13-16 (2010).
131. Schiffner U, Hoffman T, Kerschbaum T, Micheelis W: Oral health in German children, adolescents, adults and senior citizens in 2005. *Community Dent Health* 26, 18-22 (2009).
132. Schipper HM, Rosen SM, Jablonski-Momeni A: Einsatz von vier Verfahren für die Diagnose der Okklusalkaries durch unterschiedlich erfahrene Untersucher. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 64, D58 (2009)
133. Schroeder H: Pathobiologie oraler Strukturen. Karger Verlag Basel (1997).
134. Schulte AG, Momeni A, Pieper K: Caries prevalence in 12-year-old children from Germany. Results of the 2004 national survey. *Community Dental Health* 23, 197-202 (2006).

135. Sheehy EC, Brailsford SR, Kidd EA, Beighton D, Zoitopoulos L: Comparison between visual examination and a laser fluorescence system for in vivo diagnosis of occlusal caries. *Caries Research* 35, 421-426 (2001).
136. Shoaib L, Deery C, Ricketts DNJ, Nugent ZJ: Validity and reproducibility of ICDAS II in primary teeth. *Caries Res* 43, 442-448 (2009).
137. Silverstone LM: Observation on the dark Zone in early enamel caries and artificial caries-like lesions. *Caries Res* 1, 261-274 (1967).
138. Silverstone LM: Structure of carious enamel, including the early lesion. *Oral Sci Rev* 3, 100-160 (1973). Zitiert in: Buchalla W: Histologisches und klinisches Erscheinungsbild der Karies. In: Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand KR: Karies. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart (2012).
139. Souza-Zaroni WC, Ciccone JC, Souza-Gabriel AE, Ramos RP, Corona SAM, Palma-Dibb, RG: Validity and reproducibility of different combinations of methods for occlusal caries detection: an in vitro comparison. *Caries Res* 40, 194-201 (2006).
140. Steiner M, Menghini G, Curilovic Z, Marthaler T: Kariesbefall der Schüler der Stadt Zürich im Zeitraum 1970-1993. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 104, 1210-1218 (1994).
141. Stokes GG, Angstrom AJ, Thomson W: The Conservation of Energy, Theories of Absorption and Resonating Molecules, (1851-1854)
142. Stübel H: Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultra-violetten Licht. *Pfluegers Arch Ges Physiol* 142, 1-14 (1911)
143. Tape TG: Interpreting Diagnostic Tests. University of Nebraska Medical Center. (<http://gim.unmc.edu/dxtests/>)
144. Thomas MF, Ricketts DN, Wilson RF: Occlusal caries diagnosis in molar teeth from bitewing and panoramic radiographs. *Prim Dent Care* 8, 63-69 (2001).
145. Thoms M: Detection of intraoral lesions using a fluorescence camera. *Proceedings of SPIE. Lasers in Dentistry XII*, 6137, 1-7 (2006).

146. Topping GVA, Pitts NB: Clinical visual caries detection. In: Pitts NB (Hrsg.): Detection, Assessment, Diagnosis and Monitoring of Caries. Monogr Oral Sci. Karger Basel 21, 15-41 (2009).
147. Tukey JW: Exploratory Data Analysis, Addison-Wesley. (1977).
148. von der Fehr FR: Epidemiology of dental caries. In: Thylstrup A, Fejerskov O (Hrsg.): Textbook of cariology. Munksgaard Kopenhagen (1986).
149. Walsh LJ, Shakibaie F: UV-induzierte Fluoreszenz wirft ein neues Licht auf dentale Biofilme und Karies. ZWR 117, 244-248 (2008).
150. Weerheijm KL, Groen HJ, Bast AJ, Kieft JA, Eijkman MA, van Amerongen WE: Clinically undetected occlusal caries: a radiographic comparison. Caries Res 26, 305-309 (1992).
151. Weerheijm KL, Kidd EAM, Groen HJ: The effect of fluoridation on the occurrence of hidden caries in clinically sound occlusal surfaces. Caries Res 31, 30-34 (1997).
152. Weiß C: Basiswissen medizinische Statistik. Springer-Lehrbuch Berlin Heidelberg (2010).
153. Wendt LK, Koch G: Fissure sealant in permanent first molars after 10 years. Swed Dent J 12, 181-185 (1988).
154. Wenzel A, Larsen MJ und Fejerskov O: Detection of occlusal caries without cavitation by visual inspection, film radiographs, xeroradiographs, and digitized radiographs. Caries Research 25, 365-371 (1991).
155. Wenzel A: Bitewing and digital bitewing radiography for detection of caries lesions. J Dent Res 83 (Spec Iss C), C72-C75 (2004).
156. Wie J. Untersuchung von Verfahren zur Auswertung der zweidimensionalen Fluoreszenzspektren. In: Wie J. ed. Untersuchung zur Auswertung der zweidimensionalen Fluoreszenzspektren. Verlag für Wissenschaft und Forschung Berlin, S 98-105 (1998)

157. Wirtz M, Caspar F: Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität: Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Categoriesystemen und Ratingskalen. Hogrefe Verlag für Psychologie Göttingen (2002).
158. World Health Organisation: Oral health surveys. Basic Methods. WHO Genf (1997).
159. World Health Organization/Food and Agricultural Organization: Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. WHO Technical Report Series, 916.WHO/FAO Genf: (2003).
160. Zöfel P: Statistik verstehen. Addison-Wesley Verlag München (2002).

## 9 Abkürzungsverzeichnis

Alphabetische Auflistung der im Text vorkommenden Abkürzungen:

$\alpha$	Signifikanzniveau = maximale, vor der Datenerhebung festgelegte
A.	Actinomyces
Abb.	Abbildung
AG	Aktiengesellschaft
AUC	Area Under the Curve
Bema	Einheitlicher Bewertungsmaßstab für zahnärztliche Leistungen
bzw.	Beziehungsweise
°C	Grad Celsius, Maßeinheit für die Temperatur
ca.	circa (ungefähr)
CCD	Charge-coupled Device
CPI	Community Periodontal Index
CS	CarieScan Pro
d.h.	das heißt
DBSWIN	Imaging Software der Firma DürrDental (Bietigheim-Bissingen)
DIFOTI	Digital Imaging Fibre-Optic Transillumination
DMF-S/	Abkürzung für die Beurteilung defekter Zahnflächen (S = surface)
DMF-T	Abkürzung für die Beurteilung eines defekten bleibenden Zahnes D = decayed, M = missed, F = filled, T = tooth
ECM	Electronic Caries Monitor
FOTI	Faseroptische Transillumination
GBD	Global Burden of Disease
GB	Großbritannien
ggf.	gegebenenfalls
GOÄ	Gebührenordnung für Ärzte
GOZ	Gebührenordnung für Zahnärzte
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
ICCMS™	International Caries Classification and Management System
ICDAS	Caries Detection and Assessment System
IQR	Interquartilsabstand
	Irrtumswahrscheinlichkeit



Kap.	Kapitel
L.	Lactobacillus
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-emitting Diode
Ltd.	Limited, Bezeichnung für eine Kapitalgesellschaft
MedCalc	Statistik-Software für biomedizinische Wissenschaften
mW	Milliwatt
nm	Nanometer
NOC	non-operative care
NPW	negativer prädiktiver Wert
o.g.	oben genannt
OP-Leuchte	Operations-Leuchte
p	p-Wert = Ergebnis eines Signifikanztests zur Prüfung einer vorab aufgestellten Hypothese
PASS/NCSS	Software-Tools für klinischen Studien und pharmazeutische oder medizinischen Forschungen, ergänzt durch graphische Visualisierung (NCSS)
pmol	Picomol
PPW	positiver prädiktiver Wert
Prof.	Professor/-in
PZR	Professionelle Zahnreinigung
QLF	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz
r	Korrelationskoeffizient
ROC-Kurve	Receiver-Operating-Characteristic-Kurve = Grenzwertoptimierungskurve
$r_s$	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
s	Sekunde
S.	Streptococcus
SD	Standardabweichung (standard deviation)
SE	Sensitivität
sog.	Sogenannt
s.h.	siehe
SP	Spezifität
SPSS	Statistical Package for the Social Science
$t_{(1-3)}$	Messzeitpunkte der Studie
Tab.	Tabelle

---

TPOC	tooth preserving operative care
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultraviolett
VDDS	Verband Deutscher DentalSoftware Unternehmen e.V.
vgl.	vergleiche
VP	VistaProof-Kamera
vs.	versus
WHO	World Health Organisation
YUV	gibt die Farbdifferenzwerte für U (B-Y) und V (R-Y) zur Luminanz Y an (B steht für Blau, R für Rot).
z.B.	zum Beispiel

## 10 Anhang




















## 10.1 ICDAS II

Aufkleber mit Schlüsselzahl

**ICDAS-II Erfassungsbogen**

Untersucher: \_\_\_\_\_

Datum der Untersuchung: \_\_\_\_\_

18		17	16	15/55	14/54	<div style="width: 100px; height: 100px; border: 1px solid black;"></div>	3	2	1	1	2	3	<div style="width: 100px; height: 100px; border: 1px solid black;"></div>	24/84	25/85	26	27	28	
																			
48		47	46	45/85	44/84	<div style="width: 100px; height: 100px; border: 1px solid black;"></div>	3	2	1	1	2	3	<div style="width: 100px; height: 100px; border: 1px solid black;"></div>	34/74	35/75	36	37	38	
																			
















## 10.2 VistaProof

VistaProof Erfassungsbogen

Untersucher: \_\_\_\_\_

Datum der Untersuchung: \_\_\_\_\_

Aufkleber mit Schlüsselzahl

18	17	16	15/55	14/54	<div>3</div> <div>2</div> <div>1</div> <div>1</div> <div>1</div> <div>2</div> <div>3</div> <td>  </td> <td>  </td> <td>  </td> <td>  </td> <td>  </td>					
48	47	46	45/85	44/84						

## 11 Lebenslauf

### Persönliche Angaben:

Name:	Vill
Vorname:	Gabriel
Geburtsdatum:	04. März 1977
Geburtsort:	Offenbach am Main
Wohnort:	Mainaschaff
Familienstand:	verheiratet
Staatsangehörigkeit:	deutsch

### Bildungsweg:

1984-1987	Besuch der Grundschule St. Kilian in Aschaffenburg/ Nilkheim
1987-1996	Besuch des Friedrich-Dessauer-Gymnasiums Aschaffenburg mit Abschluss der Allgemeinen Hochschulreife
10/1996	Beginn des Musikstudiums (künstlerische Ausbildung im Fach Violine und Klavier) an der Fachakademie für Tonkunst Darmstadt Ausbildung im Fach Violine Meisterklasse bei Prof. Sandor Karoly in Frankfurt
04/2000	Beginn des Humanmedizinstudiums an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg
04/2004	Studienfachwechsel: Beginn des Zahnmedizinstudiums an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg
11/2008	Erteilung der Approbation als Zahnarzt

### Berufstätigkeit:

04/2009	Zahnärztliche Assistenzzeit in der allgemein zahnärztlichen Gemeinschaftspraxis Dr. T. Bretz/ Dr. B. Büttner in Klingenberg am Main
seit 04/2012	Selbstständig in eigener Praxis (Zahnärzteteam Klingenberg)

## 12 Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer In Würzburg an der Julius-Maximilians-Universität waren die Damen und Herren Professoren, Dozenten und Oberärzte:

Böhm, Conzelmann, Drenckhahn, Feierabend, Grimaldi, Hartmann, Henning-Hamm, Hoffmann, Holste, Hunecke, Karschin, Klaiber, Koepsel, Kremeier, Kübler, Kugler, Müller-Richter, Müller, Reinhart, Renk, Reuther, Schlagenhauf, Silbernagel, Stellzig- Eisenhauer, Veihelmann, Vogel, Völker.

Meine akademische Lehrerin in Marburg an der Philipps-Universität war:

Frau Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni

## 13 Danksagung

An erster Stelle möchte ich Frau Professor Dr. Anahita Jablonski-Momeni für ihre fachliche Leitung im Verlauf dieser Arbeit danken. Hinsichtlich meines Promotionsvorhabens bin ich ihr vor allem für die Überlassung dieses besonderen Themas und ihre geduldige Unterstützung bei den Vorbereitungen und der Niederschrift sowie für ihren Beitrag zur statistischen Auswertung dankbar.

Bei der Firma Dürr Dental bedanke ich mich für die Unterstützung in technischen Fragen.

Vielen Dank!

Außerdem bedanke ich mich besonders bei meinen Mitarbeiterinnen und Kollegen ohne deren tatkräftige Unterstützung die Durchführung der klinischen Untersuchungen während des Praxisalltags kaum möglich gewesen wäre.

Meiner Familie, vor allem meiner Frau danke für ihre außergewöhnliche und liebevolle Unterstützung und ihre Geduld ohne die ich eine solche Arbeit, neben meiner Berufstätigkeit niemals hätte bewältigen können.

Meinem Sohn danke ich für sein Verständnis, dass sein Papa so viel Zeit mit dieser „Dr.-Arbeit“ verbringen musste und währenddessen nicht mit ihm spielen konnte.

Herzlichen Dank!

## 14 Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Klinischer Einsatz einer fluoreszenzbasierten Intraoralkamera für die Verlaufskontrolle an gesunden und initialkariösen Zähnen“ im Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Abteilung für Kinderzahnheilkunde, unter der Leitung von Frau Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Ich versichere, dass ich sämtliche wörtlichen oder sinngemäßen Übernahmen und Zitate kenntlich gemacht habe. Mit dem Einsatz von Software zur Erkennung von Plagiaten bin ich einverstanden.

Teile dieser Arbeit wurden unter dem Titel „Klinischer Einsatz einer digitalen Fluoreszenzkamera bei der Diagnose von okklusalen Läsionen“ bei der 21. Jahrestagung der DGKiZ (Deutsche Gesellschaft für Kinderzahnheilkunde) am 09.10.2014 in Freiburg mit dem Oral-B Preis für Kinderzahnheilkunde und Prävention 2014 ausgezeichnet.

Folgende Publikationen sind basierend auf der vorliegenden Studie entstanden:

- Jablonski-Momeni A, Heinzel-Gutenbrunner M, Vill G: Use of a fluorescence-based camera for monitoring occlusal surfaces of deciduous and permanent teeth. International Journal of Paediatric Dentistry. DOI: 10.1111/ipd.12216 (2015, Epub ahead of print); Impact factor 2015: 1,303
- Jablonski-Momeni A, Vill G: Einsatz einer fluoreszenzbasierten Intraoralkamera für die Verlaufskontrolle an gesunden und initialkariösen Zähnen. Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde 37, 62-71 (2015)
- Nachdruck in: Spitzenforschung in der Zahnheilkunde, Ausgabe zum Deutschen Zahnärztetag 2015, 32-43 (2015)



Desweiteren sind Teile dieser Arbeit als Poster auf internationalen Kongress (ORCA Kongress 2015, Brüssel) vorgestellt worden. Das entsprechende Abstract wurde veröffentlicht:

- Jablonski-Momeni A, Vill G: Use of the Fluorescence-Based Camera VistaProof for Monitoring Sound Teeth and Incipient Carious Lesions. Caries Res 49, 337 (2015).

Marburg, den 17.08.2016

Gabriel Vill

Die Hinweise zur Erkennung von Plagiaten habe ich zur Kenntnis genommen, die Angebote der Philipps-Universität zur Plagiatserkennung (Plagiatsoftware zu beziehen über das Hochschulrechenzentrum) sind mir bekannt.

Marburg, den 17.08.2016

Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni